

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Aplikace technické diagnostiky na kovací stroje SHK-10

Application of Technical Diagnostics on Forging Machines  
SHK-10

Student:

Bc. Jan Kolář

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Kolář**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: **Aplikace technické diagnostiky na kovací stroje SHK-10**  
**Application of Technical Diagnostics on Forging Machines SHK-10**

### Zásady pro vypracování:

Technická diagnostika výrobních strojů je vzhledem ke specifickým vlastnostem těchto zařízení velmi problematická a náročná. V rámci diplomové práce se proto zabývejte touto problematikou s rozбором možností nasazení technické diagnostiky na dva kovací stroje SHK-10, které slouží pro kování hlavní zbraní. Analyzujte jejich technický stav, proveďte potřebná měření a také vzájemné porovnání naměřených hodnot vibrací. Naměřte hodnoty vibrací ložisek a uložení u dvou kovacích strojů. Určete vhodná místa pro měření vibrací. Zhodnoťte jednotlivá naměřená data pro každý stroj a proveďte srovnání obou kovacích strojů. Posuďte jejich technický stav a stanovte provozní podmínky pro správnou funkci obou strojů.

### V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte potřebná měření.
5. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Další podrobnější specifikace provede vedoucí práce a firma Česká zbrojovka a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6.

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry

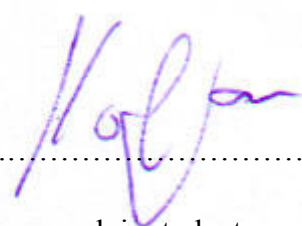


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 20. 5. 2013



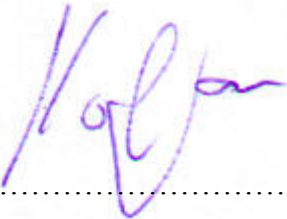
.....

podpis studenta

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Blatovi, Ph.D. za metodickou, pedagogickou pomoc a další cenné rady. Dále děkuji Ing. Tomáši Tinkovi za spolupráci a množství poskytnutých informací důležitých pro zpracování teoretické i praktické části práce.

V Ostravě: 20. 5. 2013

  
.....

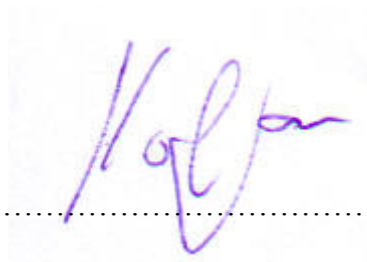
podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20. 5. 2013



.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jan Kolář

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Komňa 95, 687 71

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

KOLÁŘ, J.: *Aplikace technické diagnostiky na kovací stroje SHK-10: diplomová práce*. Ostrava. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 86 s. Vedoucí práce: Blata, J.

Cílem této práce je popis problematiky aplikace technické diagnostiky na kovacích strojích SHK-10. Tyto stroje slouží ke kování hlavní zbraní. Firma Česká zbrojovka, a. s. Uherský Brod vlastní dva kovací stroje typu SHK-10. První část práce se zabývá teoretickým rozбором problematiky údržby a technické diagnostiky. Ve druhé části práce jsou popsány kovací stroje SHK-10 a je zde uveden metodický návrh aplikování technické diagnostiky na tyto stroje. Třetí část obsahuje výsledky měření se zhodnocením současného stavu kovacích strojů a dalšími doporučeními.

## **ANOTATION OF MASTER THESIS**

KOLÁŘ, J.: *Application of Technical Diagnostics on Forging Machines SHK-10: Master Thesis*. Ostrava. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Manufacturing Machines and Construction, 2013, 86 p. Thesis head: Blata, J.

The aim of this thesis is description of the issue of application of technical diagnostics on forging machines SHK-10. These machines are used for forging the barrels of weapons. Company Česká zbrojovka, a. s. Uherský Brod owns two types of SHK-10 forging machines. The first part of the thesis deals with the theoretical analysis of the issue of maintenance and technical diagnostics. In the second part are described the forging machines SHK-10 and there is a methodical proposal of application of technical diagnostics on this machines. The third part contains the results of measurements with an evaluation of the current status of forging machines and other recommendations.

### **Klíčová slova:**

diplomová práce, kovací stroj, technická diagnostika, vibrace, CZUB

### **Keywords:**

master thesis, forging machine, technical diagnostics, vibration, CZUB

# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	10
Úvod .....	12
1 Údržba strojů a zařízení .....	13
1.1 Základní pojmy údržby .....	13
1.2 Popis jednotlivých systémů údržby .....	14
1.3 Technická diagnostika v údržbě .....	16
2 Vibrodiagnostika .....	18
2.1 Teorie mechanického kmitání .....	18
2.2 Provozní druhy měření .....	22
3 Termodiagnostika .....	26
3.1 Rozdělení teploměrů .....	26
3.1.1 Dotykové měření teploty .....	26
3.1.2 Bezdotykové měření teploty .....	28
4 Software DDS 2011 .....	30
4.1 Rozhraní softwaru DDS 2011 .....	30
4.1.1 Uživatelské rozhraní .....	30
4.1.2 Vytvoření nové databáze .....	31
4.1.3 Vytvoření stromu .....	32
4.1.4 Vytvoření datových buněk .....	33
4.1.5 Varovné a kritické hodnoty .....	34
4.2 Prezentace naměřených hodnot v softwaru .....	34
5 Současný systém údržby v CZUB .....	37
5.1 Systém údržby v CZUB podle směrnice PI-1-10-02 .....	37
5.2 Postup při běžné údržbě SaZ .....	38
5.3 Postup při zajištění neplánovaných oprav (oprav po poruše) .....	39
5.4 Postup při plánování prohlídek a oprav .....	40
5.5 Postup při provádění plánovaných prohlídek .....	41



5.6	Opravy zajišťované externími organizacemi .....	42
6	Kovací stroje SHK-10.....	43
6.1	Princip kování hlavní zbraní .....	44
6.2	Hlavní parametry strojů SHK-10 .....	45
6.3	Popis strojů SHK-10 .....	47
6.3.1	Schéma převodového ústrojí s legendou .....	47
6.3.2	Rozměry ložisek .....	48
6.4	Frekvenční charakteristika kovacích strojů .....	50
6.4.1	Otáčková frekvence .....	50
6.4.2	Zubová frekvence ozubených kol.....	51
6.4.3	Frekvenční charakteristiky valivých ložisek .....	52
7	Návrh systému měření kovacích strojů SHK-10 .....	54
7.1	Měřicí přístroje .....	54
7.2	Návrh měřicích míst na kovacích strojích .....	56
7.3	Návrh stromu v softwaru DDS 2011 .....	58
7.3.1	Návrh měřených veličin .....	58
7.3.2	Návrh alarmujících hodnot zkoumaných veličin.....	59
8	Výsledky měření .....	61
8.1	Kovací stroj SHK-10 č. 1 .....	62
8.1.1	Vibrodiagnostika .....	62
8.1.2	Termodiagnostika .....	68
8.1.3	Zhodnocení a doporučení .....	69
8.2	Kovací stroj SHK-10 č. 2.....	70
8.2.1	Vibrodiagnostika .....	70
8.2.2	Termodiagnostika .....	73
8.2.3	Zhodnocení a doporučení .....	73
8.3	Vzájemné porovnání obou kovacích strojů .....	74
8.3.1	Vibrodiagnostika .....	74

8.3.2	Termodiagnostika .....	79
8.3.3	Celkové zhodnocení .....	80
9	Závěr .....	81
	Seznam použitých obrázků.....	82
	Použité zdroje a literatura.....	84
	Přílohy .....	86

## Seznam použitých zkratk a symbolů

<i>ACMT®</i>	analýza stavu pomaluběžných ložisek; vlastník firma Adash, s. r. o.
<i>BCU</i>	bearing condition unit
<i>CAMS</i>	computer aided maintenance systems (počítačová podpora řízení údržby)
<i>CMMS</i>	computerized maintenance management system (počítačový systém řízení údržby)
<i>CNC</i>	computer numeric control (číslicové řízení počítačem)
<i>CZUB</i>	Česká zbrojovka, a. s. Uherský Brod
<i>ČSN</i>	česká státní norma
<i>DIPP</i>	diferencovaná proporcionální péče
<i>EAM</i>	enterprise asset management systems (systémy pro správu majetku)
<i>GO</i>	generální oprava
<i>HASP®</i>	hardware against software piracy; hardwarový klíč; výrobcem je firma Aladdin Knowledge systems, vlastníkem firma Safenet, Inc.
<i>ISO</i>	international organization for standardization (mezinárodní organizace pro normalizaci)
<i>IT</i>	informační technologie
<i>LCD</i>	liquid crystal display (displej z tekutých krystalů)
<i>MS SQL</i>	Microsoft SQL; relační databázový a analytický systém
<i>PPO</i>	pravidelné prohlídky a opravy
<i>RBP</i>	related bearing product
<i>RMS</i>	efektivní hodnota vibrací
<i>SaZ</i>	stroj a zařízení
<i>SD</i>	secure digital; paměťová karta
<i>SEE</i>	spectral emitted energy
<i>SPEC</i>	spektrum
<i>SPM</i>	shock pulse meter
<i>TIME</i>	časový záznam
<i>TPM</i>	total productive maintenance (totálně produktivní údržba)
<i>kov1</i>	kovací stroj č. 1
<i>kov2</i>	kovací stroj č. 2
<i>mdb</i>	přípona databázového souboru programu Microsoft Access

$T$	teplo	[J]
$a_{ef}$	zrychlení efektivní hodnoty	[m·s <sup>-1</sup> ]
$a_{peak}$	efektivní špičky	[m·s <sup>-1</sup> ]
$f_1$	otáčková frekvence hlavních hřídelí převodovky	[Hz]
$f_2$	otáčková frekvence vedlejších hřídelí převodovky	[Hz]
$f_{z1}$	zubová frekvence hlavních ozubených kol	[Hz]
$f_{z2}$	zubová frekvence vedlejších ozubených kol	[Hz]
$n_1$	otáčky hlavních hřídelí převodovky	[min <sup>-1</sup> ]
$n_2$	otáčky vedlejších hřídelí převodovky	[min <sup>-1</sup> ]
$p$	pravděpodobnost	[-]
$s$	standardní odchylka od nulové polohy	[-]
$t$	čas	[s]
$x$	amplituda	[-]
$x_s$	střední hodnota	[-]
$z_1$	počet zubů hlavních ozubených kol	[-]
$z_2$	počet zubů vedlejších ozubených kol	[-]
$\Delta\varphi$	fázový rozdíl	[-]
$\varphi$	fáze vlny	[-]

## Úvod

Jedním z nejdůležitějších úkolů každé výrobní firmy by měla být soustavná péče o své stroje a zařízení. Bez správně fungujících výrobních zařízení nemůže firma plnit své závazky v plné míře, ať už časově či kvalitou. Je na každé firmě zvážit výši nákladů na údržbu strojů a porovnat ji s výší nákladů, při nesplnění zakázky. Správně aplikovanou údržbou též prodlužujeme provozní spolehlivost a celkovou životnost každého zařízení. Existuje několik různě náročných a nákladných úrovní údržby a každá z nich využívá ke své funkci různé nástroje a pomůcky.

Hlavním nástrojem, který pomáhá při provádění údržby na základě skutečného technického stavu stroje, je technická diagnostika. Ta se snaží co nejpřesněji zjistit aktuální stav zařízení, ve kterém se právě nachází, a také hledá nejrozumnější vady a poškození na něm, a to bez nutnosti jeho odstávky či demontáže. Chod stroje je žádoucím jevem, jelikož při něm se vady projevují. Technická diagnostika tedy šetří čas potřebný ke zjištění vady. Další výhodou je to, že vada je zjistitelná ještě před jejím projevením se. Stroj stále funguje a je provozuschopný, uvnitř něj se ale začíná tvořit závada, která je už v té době zjistitelná. Pokud je začínající poškození odhaleno, lze dopředu naplánovat adekvátní kroky k jejímu odstranění.

Pro aplikaci technické diagnostiky byly vybrány dva konvenční kovací stroje GFM SHK-10 určené pro kování hlavní zbraní různých ráží. Byly vybrány z důvodu toho, že jsou to stroje stěžejní v procesu výroby zbraní. Důvodem k výběru těchto strojů byla také skutečnost, že jeden z nich prodělal v loňském roce kompletní generální opravu a modernizaci, kdežto druhý byl takto opraven v roce 2005. Mezi jejich generálními opravami je rozdíl 7 let. Oba stroje jsou téměř neustále v chodu. Nabízí se tak zajímavá možnost porovnání technických stavů těchto strojů mezi sebou.

# 1 Údržba strojů a zařízení

[7] Veškeré výrobní SaZ potřebují ke správné funkci neustálou péči a správné provozní podmínky. Údržbu lze definovat jako „kombinaci všech technických, administrativních a manažerských činností v průběhu životního cyklu daného SaZ zaměřených na jeho udržování v daném stavu, nebo navrácení do stavu, v němž je schopen vykonávat požadovanou funkci“.

## 1.1 Základní pojmy údržby

Vzhledem k údržbě o SaZ je nutné zavést několik pojmů, které je třeba si definovat:

- **Strategie údržby** – nazývá se tak metoda managementu požívaná k dosažení vytýčených cílů údržby.
- **Cíl údržby** – hlavním cílem údržby je zajistit co největší provozní spolehlivost SaZ. Udávat neustále objektivní, a co nejkomplexnější obraz o SaZ a o stavu, ve kterém se právě nachází. S tím vším souvisí neustálé zlepšování celkové efektivity zařízení.
- **Filozofie údržby** – fungující správnou údržbu je nutno brát jako jeden z hlavních záměrů podniku. Musí mít svou organizaci, která údržbu řídí a také složky, které budou údržbu provádět a tím maximálně zvyšovat efektivnost výrobního SaZ.
- **Zajištěnost údržby** – jedná se o schopnost údržby (resp. její organizace) mít v daném čase správně zajištěnou údržbu na místech, kde je nutno provést určitý údržbářský úkon.
- **Udržovatelnost SaZ** – je to taková schopnost SaZ v daných podmínkách používání setrvat ve stavu, nebo být navrácen stavu, ve kterém může plnit požadované funkce za předpokladu, že na SaZ byly aplikovány správné metody údržby, postupy a zdroje.

### Základní požadavky na údržbu

- Správný procesní přístup (zajištění funkčnosti údržby),
- systémový přístup (zajištění účinnosti a efektivnosti),
- řízení (na základě strategie se vytvoří pyramida údržby),
- zapojení všech pracovníků,

- změna myšlení a postoje k údržbě,
- zvyšování kvalifikace a dovedností pracovníků,
- aplikace technické diagnostiky (pro správné rozhodování, které je postavené na faktech),
- neustálé zlepšování kvality údržby,
- zajistit co nejvýhodnější dodavatelské vztahy (jak služeb, tak náhradních dílů).

### Hlavní zásady při vykonávání údržby (tzv. „Zásada 3 P“)

- **Preventivnost** (provádění všech údržbářských činností včas – v předstihu, zjistit závadu dříve, než se projeví navenek a ve větší míře, sledování charakteristických veličin, trendování, porovnávání s podobnými SaZ).
- **Proaktivnost** (nezůstat jen u odstranění poškozené součásti nebo poruchy, je důležité hledat pravou příčinu problému, zabránit opakujícímu se výskytu stejného problému kvůli neznalosti základního důvodu poruchy).
- **Produktivnost** (aplikace údržby jako nedílnou součást výroby, je důležité si uvědomit, že čím máme lépe – časově i kvalitně – fungující údržbu, tím méně bude docházet k nečekaným odstávkám SaZ a tím déle tedy bude moct plnit požadovanou funkci).

## 1.2 Popis jednotlivých systémů údržby

[7] Vývoj údržbářských systémů prošel od doby vzniku (resp. od doby uvědomění si člověka nutnost zavést údržbu jako součást výrobního procesu) několika fázemi. Jelikož jsou u SaZ neustále kladeny větší požadavky na provozní spolehlivost, je vývoj systémů údržby logickým vyústěním. Správně aplikovaný systém údržby musí zajistit vysokou provozní spolehlivost tak, aby zabránil velkým prostojům SaZ během výroby. Zároveň však musí být ekonomicky přínosný – není žádoucí aplikovat složité systémy údržby na součásti, které výrazně neovlivňují provozuschopnost SaZ. A samozřejmě na hlavní a nezastupitelné součásti SaZ uplatňovat systémy údržby vyšší úrovně.

### Systém údržby po poruše

Výroba je prováděna bez velkých zásahů údržby. V podstatě se jedná o provádění autonomní údržby až do momentu výskytu poruchy nebo havárie. Tento systém údržby



může být provozován u málo důležitých či nedůležitých zařízení, které by svým případným výpadkem nezavinily narušení procesu výroby. Systém může být aplikován, pokud:

- lze provádět opravy po poruše pouhým odstraněním poruchy,
- není možný plánovitý přístup,
- je forma inspekce postavena na zkušenostech obsluhy.

### **Systém plánovaných preventivních oprav (PPO)**

Plánovaná preventivní prohlídka a plánovaná preventivní oprava se provádí po uplynutí daného časového cyklu. Tento systém zahrnuje komplex časových prohlídek a oprav (týdenní, měsíční, čtvrtletní, pololetní, generální). V porovnání s ostatními systémy údržby (vyjma údržby po poruše) není příliš ekonomicky přínosná. Důvodem je preventivní provádění prohlídek nebo výměny dílů, které nemusí být zapotřebí, tzn. větší množství odstávek SaZ, než je nezbytně nutné.

### **Systém diferencované proporcionální péče (DIPP)**

Jedná se o kombinaci předešlých (i následujících) systémů. Jednotlivé systémy se aplikují pouze na jednotlivé části strojů, a to podle jejich důležitosti. Při rozhodování o důležitosti se vychází z různých hledisek – podle stupně složitosti stroje, podle stupně technické úrovně součásti, podle technického stavu součásti na základě znaků opotřebení, nebo podle úrovně opravitelnosti.

### **Systém diagnostické údržby**

Tento systém bere v úvahu skutečný technický stav, ve kterém se SaZ aktuálně nachází, zjištěný za pomoci metod technické bezdemontážní a nedestruktivní diagnostiky. SaZ se odstaví pouze v případě, bylo-li u nich dosaženo mezního stavu opotřebení. Kontroly jsou prováděny buďto v určených časových cyklech, po objednávce firmy, nebo neustálým monitorováním (online). Systém diagnostické údržby se skládá ze 4 po sobě jdoucích fází.

- 1) Detekce
- 2) Lokalizace
- 3) Specifikace poruchy
- 4) Odstranění poruchy

### **Systém prognostické údržby**

Systém je založen na základě diagnostické údržby. Data z diagnostických měření se uchovávají a ukládají do přehledných tabulek a řadí se podle data. Tyto získané údaje se po určité době a po určitém počtu měření využívají k prognóze (predikci, předpovědi) zbytkové životnosti SaZ (nebo jen jeho součástí). Výsledkem takovéto prognózy je potom čas zbývající do nutné opravy. Určená zbytková životnost přitom vychází z analýzy trendů vibrací. Určujícím znakem je také „vanová křivka“, která charakterizuje intenzitu opotřebení součástí.

### **Systém automatizované údržby**

Umožňuje řízení údržby v reálném čase. Systém využívá IT systémy řízení údržby (jedná se o tzv. „computerizaci“ údržby). Počítačové systémy pro řízení se dělí následovně:

- CAMS (Počítačově podporované systémy řízení údržby),
- CMMS (Počítačový systém údržby),
- EAM (Systémy pro správu podnikového majetku).

### **Systém totálně produktivní údržby (TPM)**

[4] Systém vytvořený v Japonsku, jeho základem jsou tyto principy:

- 1) Maximalizace celkové účinnosti a výkonnosti SaZ snížením šesti hlavních ztrát (porucha, chod na prázdko, zmetky, seřizování, snížená výtěžnost, najíždění polotovarů).
- 2) Neustálé rozvíjení autonomní údržby.
- 3) Zlepšení dosavadní koncepce údržby.
- 4) Zvýšení dovedností a znalostí týmovou prací a motivací pracovníků.
- 5) Kontinuální zlepšování SaZ.

## **1.3 Technická diagnostika v údržbě**

Pojmem technická diagnostika rozumíme sledování a následné vyhodnocení stavu SaZ za chodu. Existuje několik druhů technické diagnostiky, jejichž postupy lze aplikovat na SaZ. Většina postupů je definována v normách ČSN ISO. V praxi je vhodné aplikovat na důležitý SaZ ne jednu, ale několik metod technické diagnostiky a posuzovat zjištěné skutečnosti z více hledisek. Tento postup se obecně nazývá „Multiparametrická

diagnostika“. Jednotlivé druhy technické diagnostiky podle typu zkoumaných parametrů jsou:

- **Provozní diagnostika.** Zde se využívají všechny dostupné provozní parametry, které nám umožní zhodnotit stav SaZ za chodu. U drahých a velkých zařízení se používají online systémy s databázemi a určitým softwarem pro sběr a analýzu dat. U méně složitých SaZ je prováděno pravidelné zapisování parametrů měřených za provozu a následné posuzování skutečného stavu SaZ. Celou touto problematikou se zabývá norma ČSN ISO 17369 – *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Obecné pokyny*. [10] Norma říká, jak souvisí jednotlivé provozní parametry s různými závadami SaZ.
- **Tribodiagnostika (diagnostika maziv).** [2] Rozlišuje se podle dvou základních účelů:
  - 1) **Zjišťuje stav a degradaci samotného maziva.**

Postupem času dochází k degradaci maziva a zhoršování jeho fyzikálních a mazacích vlastností (oxidace, obsah vody, viskozita, kyselost).
  - 2) **Zjišťuje stav stroje.**

Tohoto cíle lze dosáhnout rozbořením nečistot a otěrových částic obsažených v mazivu. Přesněji tedy odborným prozkoumáním množství, velikosti a tvaru otěrových částic.
- **Termodiagnostika.** Pomocí měření povrchové teploty SaZ lze snadno detekovat místa s velkými rozdíly teplot. Z toho lze později usuzovat o možné příčině této zvýšené teploty (zvýšené tření, zkrat na elektrickém vodiči nebo jeho velký odpor, kontrola vyzdívek komínů, úniky tepla na budovách).
- **Akustická diagnostika.** Vychází ze skutečnosti, že jakákoliv závada nebo suché tření vytváří ultrazvuk. Vytváří se také při proudění kapalin (kavitace) nebo např. při elektrickém výboji.
- **Elektrodiagnostika.** Zjišťují se elektrické veličiny a následné závady elektrických strojů (např. prasklá rotorová tyč).
- **Vibrodiagnostika.** Každý vibrační signál s sebou nese mimo jiné informace o příčině vzniku či původu daných vibrací. Využití převážně u rotačních SaZ. Vibrační diagnostikou se zabývají normy ČSN ISO 13373-1: *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 1: Obecné postupy* [11] a dále ČSN ISO 13373-2: *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 2: Zpracování, prezentace a analýza vibračních dat*. [12]

## 2 Vibrodiagnostika

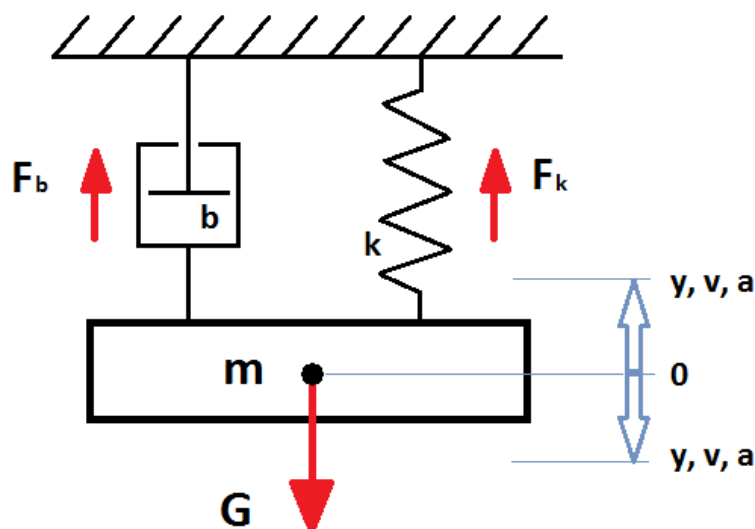
[3] Vibrodiagnostika je jedna z metod bezdemontážní diagnostiky, tedy oboru, při kterém zjišťujeme určité parametry stroje (vibrace) bez nutnosti odstavení stroje. Chod stroje je v oboru bezdemontážní diagnostiky žádoucím a nutným jevem.

### 2.1 Teorie mechanického kmitání

[18] Mechanickým kmitáním se rozumí vratný harmonický pohyb, který je vykonáván tělesem o určité hmotnosti, na které působí síly, které jsou pro tuto soustavu charakteristické.

Kmitání lze rozdělit do následujících kategorií:

- Kmitání volné
  - Netlumené (v reálném prostředí se nevyskytuje)
  - Tlumené
- Kmitání vynucené (budící silou s harmonickým průběhem)



$m$  [kg] = hmotnost tělesa;  $G$  [N] = tíha tělesa;  $F_k$  [N] = direkční síla pružiny;  $k$  [N·m<sup>-1</sup>] = tuhost pružiny;  $F_b$  [N] = tlumicí síla tlumiče;  $b$  [kg·s<sup>-1</sup>] = koeficient odporu prostředí;  $y$  [m] = okamžitá výchylka;  $v$  [m·s<sup>-1</sup>] = okamžitá rychlost;  $a$  [m·s<sup>-2</sup>] = okamžité zrychlení;  $0$  [-] = rovnovážná poloha

Obr. 2-1: Soustava kmitání

Mechanické kmitání volné, tlumené (reálný případ kmitání) si lze představit jako těleso, které je zavěšeno na pružině. Na toto těleso tedy působí tíha tělesa, vratná (direkční) síla pružiny a zároveň tlumicí síla soustavy.

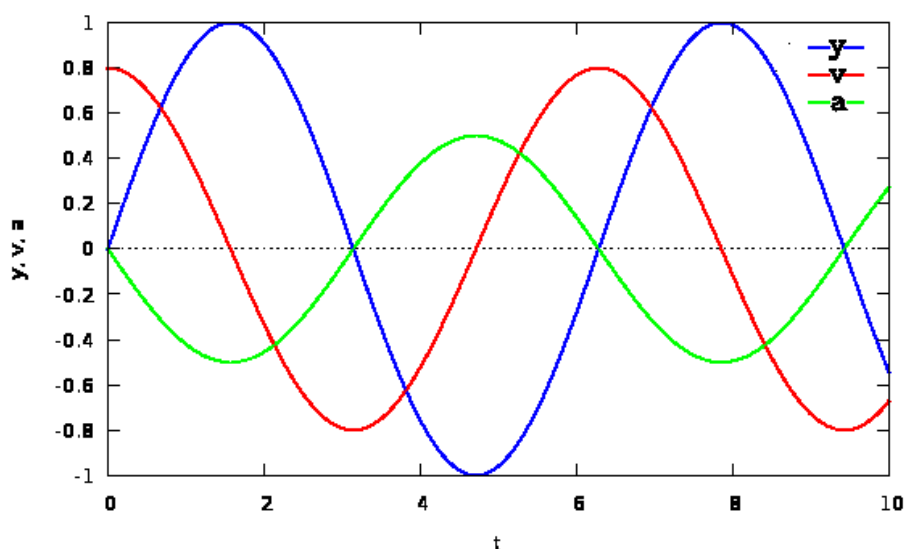
Z tohoto úsudku může být pohyb takového tělesa následně popsán vztahem:

$$m \cdot \ddot{y} + b \cdot \dot{y} + k \cdot y = 0 \quad (2.1)$$

Z této pohybové rovnice je zřejmé, že kmitání lze charakterizovat podle následujících veličin:

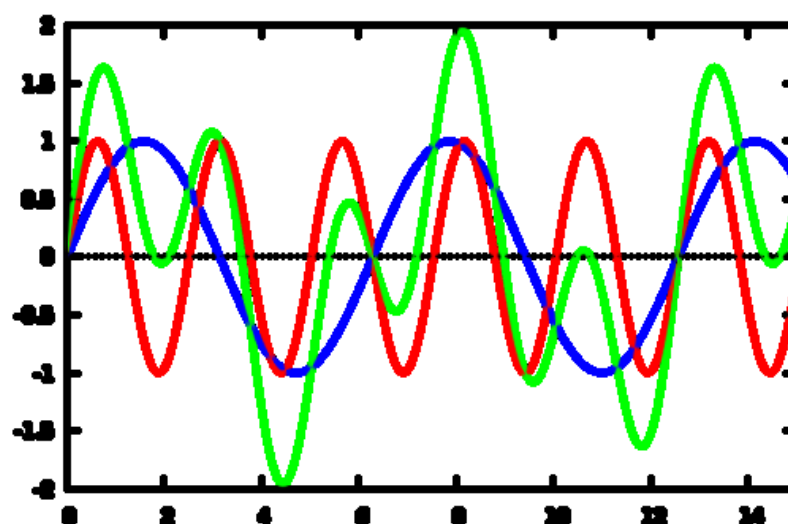
- **Výchylka**  $y$  (mm, m,  $\mu\text{m}$ )
- **Rychlost**  $\dot{y}$  ( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
- **Zrychlení**  $\ddot{y}$  ( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$ , g)

Pokud vložíme hodnoty výchylky, rychlosti a zrychlení do grafu, jehož vodorovnou osou je čas  $t$  [s], v případě netlumeného kmitání zjistíme, že všechny tyto veličiny jsou popsány „Sinusovými křivkami“ s různými fázemi  $\varphi$  a velikostí.



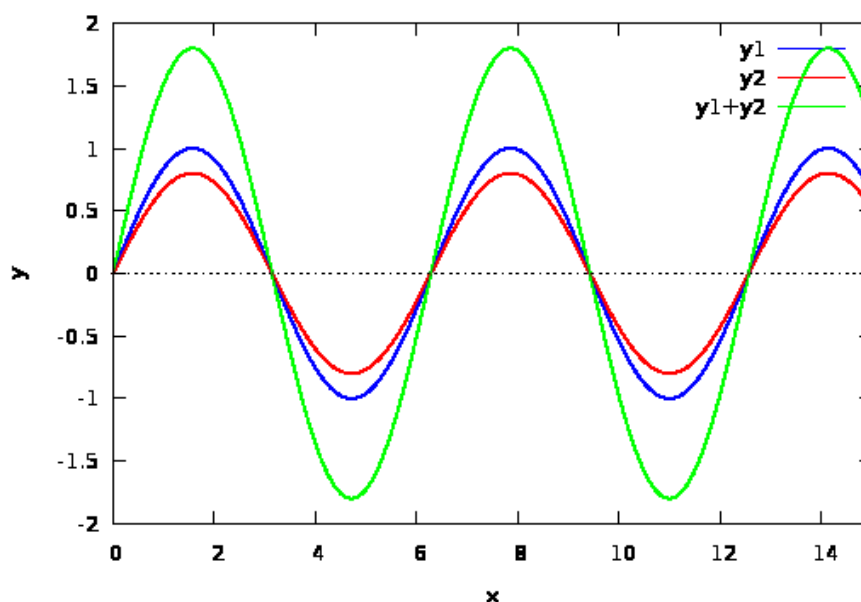
Obr. 2-2: Časová závislost výchylky, rychlosti a zrychlení [20]

V běžném provozu ovšem dochází ke kmitání více zdrojů kmitů najednou. Tím pádem nastává skládání kmitů. Skládání se provádí jednoduchým součtem velikostí hodnot daných veličin v daném čase. Existuje však několik zvláštních případů, které nejsou zanedbatelné a jichž se v běžné praxi využívá.



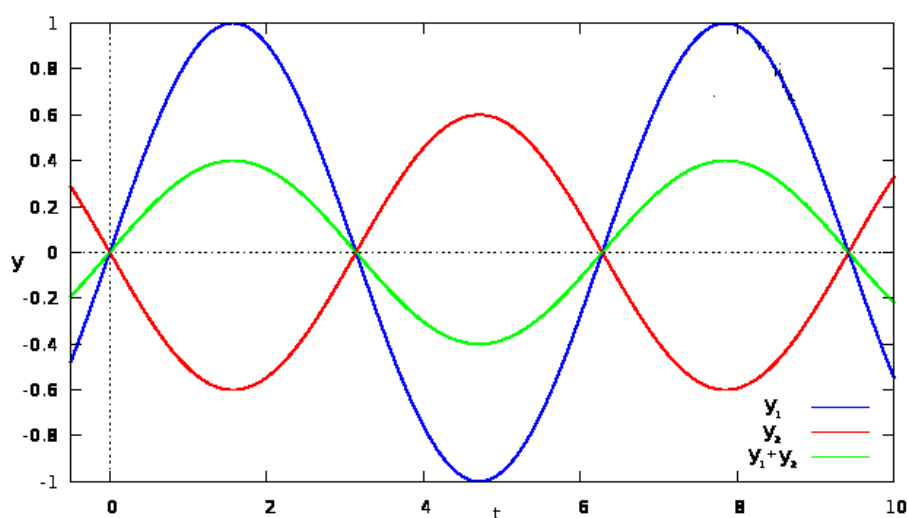
Obr. 2-3: Skládání kmitů s různou frekvencí [20]

Vlivem skládání kmitů tak dochází ke zvýšení celkové úrovně kmitání a může tak nastat nežádoucí jev, který se nazývá „rezonance“. Rezonance znamená několikanásobné zvětšení kmitání způsobené tím, že jsou dvě soustavy ve fázi (u obou je rozdíl  $\Delta\varphi = 0$  a mají stejnou frekvenci).



Obr. 2-4: Skládání kmitů ve fázi [20]

Pokud jsou kmity v protifázi, dochází ke snížení celkové hodnoty vibrací. Mezním jevem je, pokud jsou dvě soustavy v protifázi a mají stejnou velikost, dochází k úplnému potlačení kmitů (na hodnotu 0). Tohoto jevu se využívá např. při tzv. aktivní ochraně sluchu.

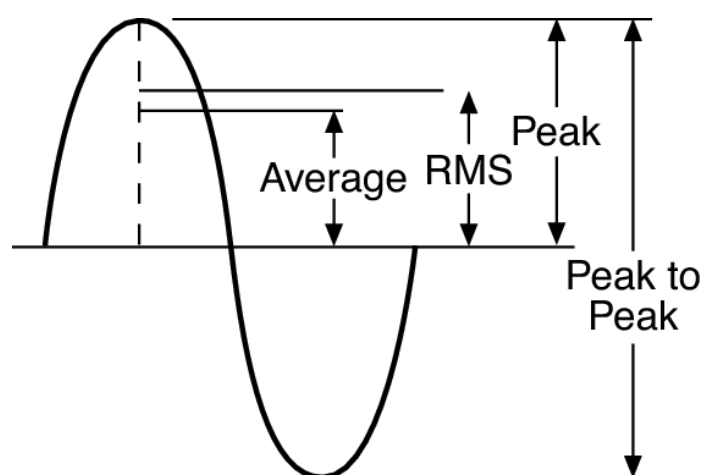


Obr. 2-5: Skládání kmitů v protifázi [20]

[5] Samotné kmitání je posuzováno podle čtyř základních veličin.

- 1) **Peak to peak** (špička – špička) – hodnota rozkmitu vlny
- 2) **Peak** (špička) – amplituda kmitu
- 3) **Average** (střední hodnota)  $\cong 0,637 \cdot peak$

$$4) \text{ RMS (efektivní hodnota) } = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot peak \cong 0,707 \cdot peak$$



Obr. 2-6: Veličiny kmitu [5]



## 2.2 Provozní druhy měření

Za pomoci vibrodiagnostiky lze zjistit na SaZ velké množství poškození. Různé druhy poškození se zjišťují různými metodami vibrodiagnostiky.

### Provozní vyvažování

Nevyváženost je přímým důsledkem nepravidelného rozložení hmoty v rotujících součástech. Tyto nerovnoměrně rozložené hmoty vzbuzují dynamické síly, které následně způsobují vibrace ložisek, celých strojů i samotných základů a způsobují tak jejich značné poškození. Samotné vyvažování je prováděno:

- staticky (vyvažování v jedné rovině),
- dynamicky (vyvažování alespoň ve dvou rovinách).

Existuje několik rozdílně složitých metod, jakými se řeší problémy s nevyváhou. Záleží při tom na počtu měřených poloh.

- 1) **Jednopolohová metoda** – u této metody je nutné provádět měření fáze.
- 2) **Třípolohová metoda** – měří se hodnoty vibrací ve třech místech, které jsou od sebe odkloněny přesně o  $120^\circ$ . Vyvážení po pouze 4 chodech SaZ.
- 3) **Vícepolohová metoda** – měření probíhá minimálně v osmi místech, které jsou od sebe stejně vzdáleny. Velký počet nutných rozběhů SaZ.

### Měření intenzity kmitů

Intenzitou kmitů se rozumí největší hodnota kmitů měřená na funkčně nejdůležitějším místě stroje. Naměřené hodnoty intenzity kmitů se porovnávají s mezními hodnotami pro daný stroj. Zjišťuje se tak vibrační chování daného SaZ.

### Frekvenční analýza

Frekvenční analýza umožňuje přesnou identifikaci jednotlivých příčin kmitání. Je to způsobeno tím, že se směs kmitů daného zařízení rozloží na jednotlivé složky podle frekvence.

### **Fourierova analýza**

[6] Fourierovou analýzou se zjišťuje závislost kmitání SaZ na jeho otáčkách. Měří se harmonické složky kmitů, které odpovídají otáčkám stroje, a jejich násobky (harmonické a subharmonické)

### **Kepstrální analýza**

Metoda kepstrální analýzy využívá vícenásobné transformace signálu. Pomocí kepsťer je možné identifikovat série harmonických a bočních pásem, které jsou obsaženy ve spektrech. Výhodou kepstrální analýzy je to, že se zachovávají informace i o signálech, které mají nízkou úroveň vibrací.

### **Modální analýza**

[6] Jedná se o pozorování chování modelu s podobnými vlastnostmi (velikost, tvar...), jako má objekt, na kterém se provádí měření, při jeho vybuzení pomocí rázových impulzů. K takovému vybuzení jsou používány speciální rázová kladívka nebo elektrodynamické budiče. Tuto metodu lze využít následovně:

- ke zjištění vlastní frekvence soustavy,
- k simulaci kmitání objektu v daném frekvenčním rozsahu (provozní tvary kmitů),
- k identifikaci příčin vibrací z vlastností budících účinků,
- při ladění soustavy při změně konstrukce nebo přidáním jiných prvků.

### **Měření stavu valivých ložisek**

[6] Vyhodnocením frekvenčního spektra nebo analýzou naměřených hodnot lze určit místa, kde na ložisku vzniká defekt. K tomu je ovšem potřeba znát frekvence, na kterých se tyto poruchy vyskytují. Jsou to:

- otáčková frekvence hřídele,
- poruchová frekvence vnitřního kroužku ložiska,
- poruchová frekvence vnějšího kroužku,
- poruchová frekvence valivého segmentu,
- poruchová frekvence klece.

Dalším problémem, kterým bychom se měli zabývat v závislosti na stavu ložisek, je jejich zbytková životnost. Měli bychom proto sbírat naměřená data, nedělat konečná rozhodnutí pouze z jednoho měření a využít metodu trendové analýzy.

### SEE (Spectral Emitted Energy)

Metoda měří ultrazvukovou emisi způsobenou degradačními jevy objevujícími se ve stroji. Metoda je schopna zjistit závadu již v raném stádiu. Signál je snímán až do frekvence několika MHz, poté se filtruje na frekvenci okolo 300 kHz a demodulují se jeho nízkofrekvenční složky, kde probíhá další analýza. Tím dostaneme frekvenční spektrum.

### SPM (Shock Pulse Meter)

Snímají se krátkodobé tlakové vlny vyvolané mechanickými rázy při průchodu (např. valivých těles) přes poškozené místo. Snímání prahových a špičkových úrovní vibrací. Naměřené hodnoty se zakreslují do grafu, kde se následně porovnávají s mezními hodnotami.

### BCU (Bearing Condition Unit)

Jedná se o nepřímé měření rázových impulzů, konkrétně pomocí obsahu energie akustických kmitů, které se šíří v pevném materiálu, projevujících se ve frekvenčním pásmu 20 kHz – 40 kHz. Vyhodnocují se špičkové hodnoty signálu.

### RBP (Related Bearing Product)

Zjišťují se špičkové a efektivní hodnoty zrychlení, a to v rozsahu 2 kHz – 16 kHz.

### Crest faktor

Vyhodnocuje se poměr špičkového zrychlení ke střední hodnotě zrychlení v rozsahu 10 Hz – 10 kHz a časové posloupnosti.

### Q faktor

Využívá poměr mezi střední a špičkovou hodnotou amplitudy emitovaného ultrazvukového signálu na pracovní frekvenci 40 kHz.

### K(t) parametr

Vyhodnocení vztahu mezi efektivním zrychlením  $a_{ef}$  a špičkovým zrychlením  $a_{peek}$  na počátku a v čase  $t$ :

$$K(t) = \frac{a_{ef(0)} \cdot a_{peek(0)}}{a_{ef(t)} \cdot a_{peek(t)}} \quad (2.2)$$

Kurtosis

Posouzení statického rozdělení amplitud chvění a odchylky od normálního rozdělení. Ve frekvenčním pásmu 2,5 kHz – 80 kHz. Zhodnocení je podle tzv. K-faktoru.

$$K = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (x - x_s)^4 \cdot p(x) \cdot dx}{s^4} \quad (2.3)$$

...kde  $x$  = amplituda signálu,  $x_s$  = střední hodnota,  $p(x)$  = pravděpodobnost ( $x$ ),  $s$  = standardní odchylka vůči nulovému signálu.

### 3 Termodiagnostika

[1] Každé zařízení, které vykonává práci, potřebuje pro tuto činnost dodat určitou hladinu energie, kterou poté přemění na pohyb (nebo sílu, tlak...) a jinou energii (teplo). U rotačních strojů lze v důsledku tření při pohybu vzájemně se dotýkajících částí jako takový případ použít např. zahřívání ložisek. Jakákoliv přivedená energie je přeměněna na rotační pohyb hřídele a zbytek energie je přeměněn na teplo  $T$  [J], v důsledku čehož se zařízení začne zahřívát, tzn. zvyšovat svou teplotu  $t$  [°C]. Čím větší tření je na jakémkoliv zařízení přítomno, tím více energie přemění na teplo. Za použití přístrojů, které zjišťují aktuální teplotu, lze tedy velmi snadno diagnostikovat na SaZ vyskytující se problém.

#### 3.1 Rozdělení teploměrů

Přístroje, které zjišťují aktuální teplotu určitého místa, se nazývají teploměry. Dle principu zjišťování teploty je lze rozdělit do dvou typů.

- **Dotykové** (zjišťují teplotu na základě přímého kontaktu s měřeným místem).
- **Bezdotykové** (zjišťování teploty probíhá bez kontaktu přístroje a měřeného místa).

##### 3.1.1 Dotykové měření teploty

Dotykové teploměry se dále dělí podle toho, kterou fyzikální veličinu využívají ke zjišťování teploty.

- **Dilatační teploměry.** Založeny na principu teplotní roztažnosti pevných látek, kapalin, par nebo plynů.
  - Skleněné. Běžné teploměry. Měří se relativní prodloužení teploměrné kapaliny (rtuť, alkohol, galium) v teploměrné skleněné nádobce, která ústí do dlouhé kapiláry ukončené expanzní nádobkou.
  - Tlakové.
    - *Kapalinové.* Změna teploty způsobí změnu tlaku v kapalině. Tlak způsobuje deformaci deformačního členu (trubice stočená do „Archimedovy spirály“), na ukazatel je převod mechanický.

- *Parní.* Podobné jako kapalinové. Teploměrná kapalina je přítomna jen z části, zbytek je tvořen nasycenými parami.
- *Plynové.* Využívají dvou principů – změnu objemu s teplotou při konstantním tlaku nebo změnu tlaku s teplotou při konstantním objemu.
- Tyčové. Založeny na rozdílné teplotní roztažnosti dvou materiálů (jeden z nich má minimální teplotní roztažnost).
- Bimetalické (dvojkovové). Jsou tvořeny páskem složeným ze dvou různých materiálů o různých součinitelích roztažnosti. Spojeny jsou válcováním. Se zvýšenou teplotou se pásek deformuje, teplota je zobrazena na ukazateli mechanicky.
- **Elektrické teploměry.** Založeny na teplotní závislosti elektrického odporu nebo na termoelektrickém jevu.
  - Odporové. Využití fyzikálního jevu – odpor kovu se vzrůstající teplotou roste.
  - Polovodičkové (termistory). Opačný jev – odpor polovodičů se vzrůstající teplotou klesá. Jsou 10x citlivější než odporové teploměry.
  - Termoelektrické. Tvoří ho dva dráty z různých materiálů vodivě spojenými. Využívá tzv. „Seebeckův jev“ – pokud je teplota na jednom konci menší než na konci druhém, dojde ke vzniku termoelektrického napětí.
- **Speciální teploměry.** Založeny na změnách určitých fyzikálních vlastností látek s teplotou.
  - Krystalové. Vyrobeny z tekutých krystalů – látka podobná krystalu s tekutostí kapaliny. Barevné teplotní indikátory.
  - Segerovy jehlánky. Nakloněné jehlánky z přesně definovaných směsí. Sleduje se deformace. Při určité teplotě se špička jehlánku dotkne podložky.
  - Teploměrné barvy. Založeny na změně barvy s teplotou. Buď při dosažení dané teploty změní barvu, nebo určité zbarvení odpovídá určité teplotě.

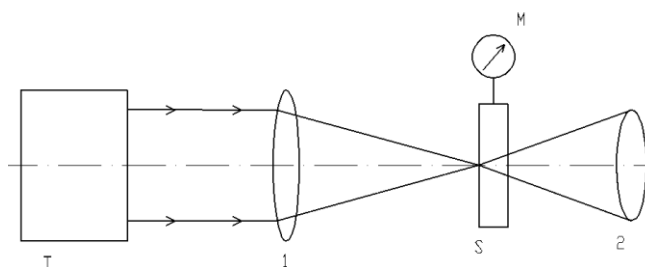
### 3.1.2 Bezdotykové měření teploty

Lze dělit v závislosti na tom, jak měření teploty probíhá.

- Měření konkrétní hodnoty teploty – pyrometry.
- Tepelné obrazy – termovize.

Bezdotykové teploměry se nazývají pyrometry. Je u nich využíváno s dostatečnou přesností zachycování sálání tepla v oblasti infračerveného záření. Existují dva typy používaných pyrometrů:

- **Úhrnný.** Tento typ vyhodnocuje teplotu v celém rozsahu spektra vlnových délek.
- **Pásmový.** Jako čidlo jsou použity selektivní kvantové snímače, které vyhodnocují záření jen v určitém pásmu vlnových délek.



Obr. 3-1: Schéma pyrometru [1]

...kde: T – těleso; 1 – optická sonda; S – snímač teploty; M – ručkový přístroj; 2 – objektiv.

#### Teplotní obrazy

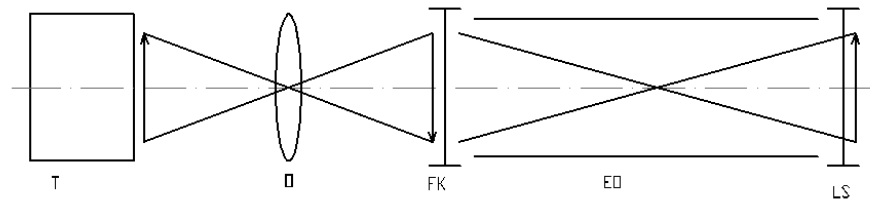
Typy snímání tepelných obrazů se dělí následovně:

- Pracují s rozkladem obrazu
  - Termovize s optomechanickým rozkladem
  - Termovize s elektronickým obrazem
- Obraz bez rozkladu obrazu
  - Infrafotografie
  - Obrazové měniče

Obrazové měniče umožňují přímé zobrazení pole. Pracují na principu fotoemise a luminiscence – tepelný obraz zkoumaného objektu (T) se vyvábí prostřednictvím



objektivu (O) na fotokatodě (FK). Fotokatoda způsobuje emisi elektronů, která prochází elektronkovou optikou (EO), která je urychluje a usměrňuje na rovinu luminiscenčního stínítka (LS) – vytváří výsledný obraz.



Obr. 3-2: Obrazový měnič [1]

### Použití a příklady tepelných obrazů

Ve strojírenství lze využít zkoumání tepelných obrazů pro spoustu případů, jako je např.:

- přehřívání při zadírání valivých nebo kluzných ložisek,
- zjišťování tepelných rozsahů dvou a více kontaktních ploch,
- přehřívání hydraulických obvodů,
- parovody,
- vadné izolace tepelných potrubí,
- elektromotory,
- přetěžované či poškozené elektrické vodiče,
- zkratovaný elektrický obvod,
- tepelné úniky ve stěnách budov aj.

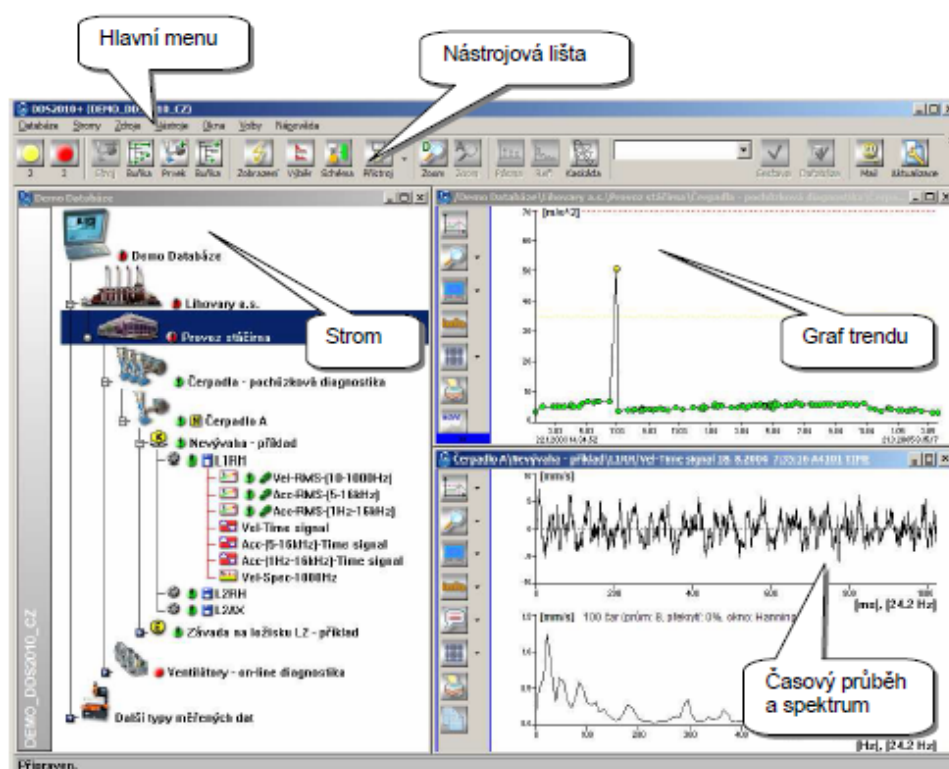
## 4 Software DDS 2011

[17] Jedná se o diagnostický softwarový systém, který je distribuován firmou Adash, s. r. o. a ve většině případů je prodáván spolu s měřicími přístroji této firmy. Systém umožňuje snadnou práci se všemi naměřenými daty přístroji od firmy Adash. Plná verze softwaru je volně ke stažení přímo na stránkách firmy <http://www.adash.cz/> je však uzamčena hardwarovým „HASP“ klíčem, který je prodáván pouze spolu s diagnostickými přístroji. V případě uvolnění nové verze softwaru je tato ke stažení na výše uvedených stránkách a zároveň se vždy jedná o bezplatný update předchozí verze. Program je velmi rozsáhlý a není tak nutné, aby si jej každý zákazník kupoval i s částmi, které nevyužije. Firma tedy prodává zákazníkovi licence pouze na ty programové rozhraní, které si zákazník přeje. Všechny rozhraní programu potřebují ke svému spuštění licenci. Software podporují verze systému Windows® (XP, Vista, 7).

### 4.1 Rozhraní softwaru DDS 2011

#### 4.1.1 Uživatelské rozhraní

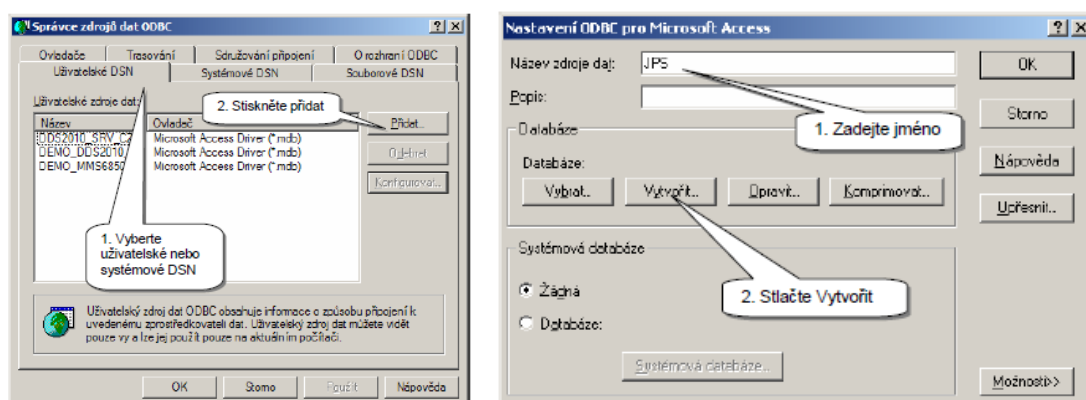
[17] Uživatelské rozhraní je rozděleno na 3 hlavní části – ovládací část, pracovní část a dialogová okna. Ovládací část obsahuje menu a nástrojovou lištu, obě tyto položky jsou umístěny v horní části okna. Nástrojová lišta má rychlá tlačítka a také combo-box sestav. Combo-box slouží k rychlému ukládání aktuálního nastavení otevřených oken a databázi pro pozdější použití. V konfigurovatelné pracovní části mohou být rozmístěny stromy, schémata nebo grafy. Na následujícím obrázku je zobrazena fiktivní firma a rozdělení podniku.



Obr. 4-1: Rozhraní DDS 2011 [17]

#### 4.1.2 Vytvoření nové databáze

Aby bylo možné v programu pracovat, je třeba si nejprve vytvořit databázi takovou, aby odpovídala skutečnosti řešeného podniku. Program pracuje s různými formami databáze, např. MS Access (.mdb), nebo MS SQL. V dialogovém okně si po stisknutí tlačítka *Přidat...* vybereme požadovaný typ databáze, umístění databáze a název a dáme *Vytvořit...*, tím je databáze vytvořena, později ji můžeme otevřít a pracovat s ní.



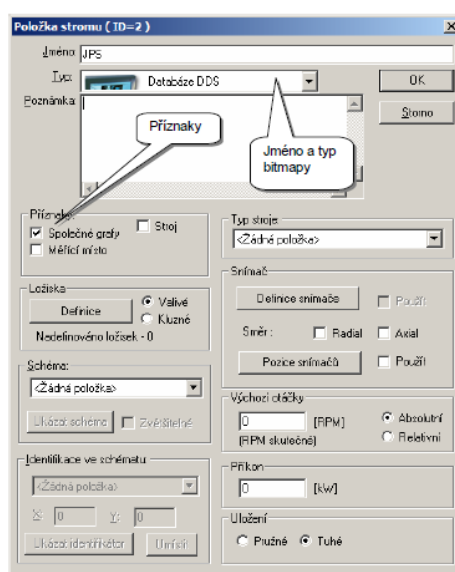
Obr. 4-2: Vytvoření databáze [17]

### 4.1.3 Vytvoření stromu

Strom je základním prvkem databáze a charakterizuje strukturu podniku. Je žádoucí, aby jedna databáze měla pouze jeden strom, práce s daty je potom rychlejší. Není to však nutnost, jedna databáze může obsahovat několik stromů. Největším prvkem struktury podniku je strom, ten se dělí na nižší úrovně na velké celky, dále menší celky atd. Příklad systému úrovní je následující (tučně jsou vypsány příkazy v programu):

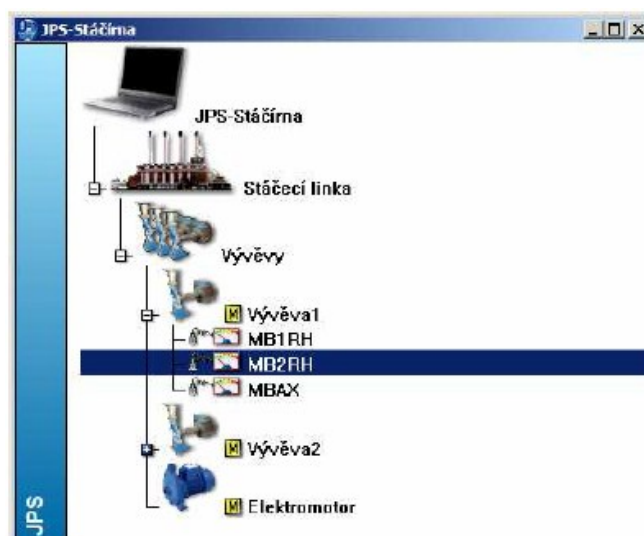
1. úroveň	<b>Strom</b>	Firma
2. úroveň	<b>Výrobní linky</b>	Linka A, linka B...
3. úroveň	<b>Soustrojí</b>	Výrobní stroj 1, výrobní stroj 2...
4. úroveň	<b>Stroj</b>	Motor, čerpadlo...
5. úroveň	<b>Měřicí místa</b>	K1, K2, KI1, KI2...
6. úroveň	<b>Datové buňky</b>	

Strom lze vytvořit pouze stiskem tlačítka *Vytvořit strom*. Vyplníme pouze jméno a typ stromu.



Obr. 4-3: Vytvoření stromu [17]

U příkazu *Stroj* je možné dále definovat např. snímač (je-li stejný pro celý stroj), typ stroje a jeho otáčky. Stroj může mít několik měřicích míst. Nemusí to nezbytně být nejnižší položka v seznamu, ale může se dále dělit. Výsledný strom potom může vypadat jako na následujícím obrázku.



Obr. 4-4: Příklad stromu [17]

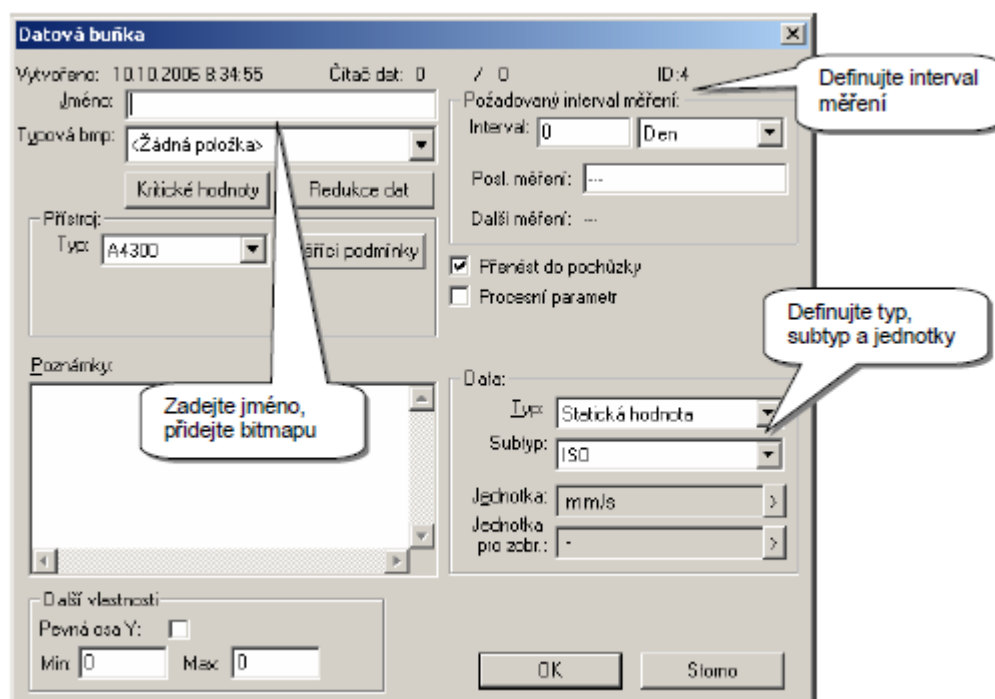
#### 4.1.4 Vytvoření datových buněk

Datové buňky slouží k ukládání a uchovávání naměřených dat. Datové buňky nelze dále dělit. Je možné je vytvořit v kterékoliv části stromu, není pravidlem, že to musí být položky v nejnižší úrovni stromu. V softwaru existují dva typy datových buněk.

- **Statické** – nejjednodušší typ, uchovávají pouze jedinou hodnotu (reálnou nebo komplexní)
- **Dynamické** – obsahují pole hodnot (např. časový signál nebo frekvenční spektrum)

Při vytváření nové datové buňky napíšeme její *jméno*, *typovou bitmapu*, dále *typ*, *subtyp* a *jednotku*. Jméno je třeba volit jednoduše, ale obsáhle, aby bylo ihned poznat, co datová buňka obsahuje. Příklad pojmenování datových buněk:

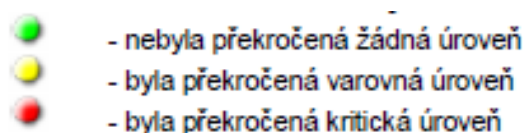
- |                   |                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|
| ➤ 20-2000_vel_RMS | <i>Efektivní hodnota vibrací v pásmu 20 – 2 000 Hz.</i>   |
| ➤ 6-14k_acc_TIME  | <i>Časový záznam zrychlení v pásmu 6 – 14 000 Hz.</i>     |
| ➤ 16-16k_acc_SPEC | <i>Spektrum zrychlení vibrací v pásmu 16 – 16 000 Hz.</i> |



Obr. 4-5: Vytvoření datových buněk [17]

#### 4.1.5 Varovné a kritické hodnoty

Každé buňce lze nastavit dolní a horní *varovné* a *kritické* hodnoty. Překročení vybraného kritéria o danou hodnotu bude uživatele informovat zobrazením určité barvy ve stromu. Informace o překročení hodnoty se dědí po celé větvi stromu.



Obr. 4-6: Semafor zobrazení varování [17]

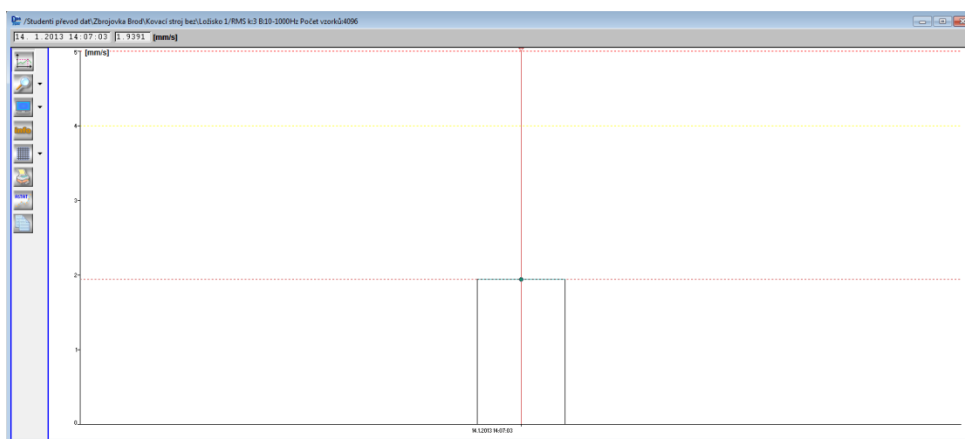
Toto nastavení pro zobrazení varovných a kritických hodnot funguje jak pro statické buňky, tak pro spektra.

## 4.2 Prezentace naměřených hodnot v softwaru

Pro zkoumání naměřených dat slouží v pracovním prostoru okna grafů. Prezentace dat může mít několik podob. Jedná se např. o zobrazení konkrétní hodnoty, spektra, časového záznamu, trendu nebo orbity. Pracovní okno pro grafy má vždy po levé straně stejnou lištu,

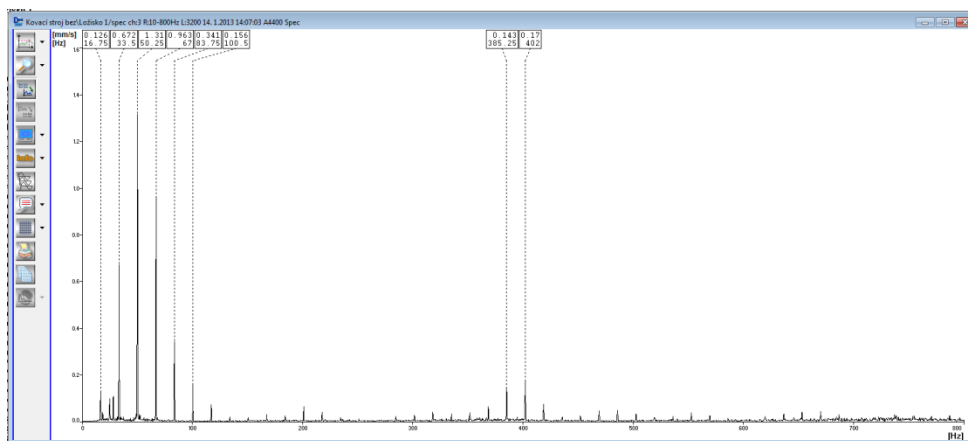
která umožňuje vložení kurzoru, nebo skupiny kurzorů (harmonické, postranní pásma...), mřížku, funkci lupy, vyhledání lokálních extrémů a výpis hodnot, export grafu atd.

Zobrazení konkrétní hodnoty je velmi jednoduché. Na obrázku zobrazení efektivní hodnoty rychlosti. Pokud jsou pro měřenou veličinu nastaveny i varovné a kritické hodnoty, je toto v grafu indikováno vodorovnou žlutou a červenou čarou.



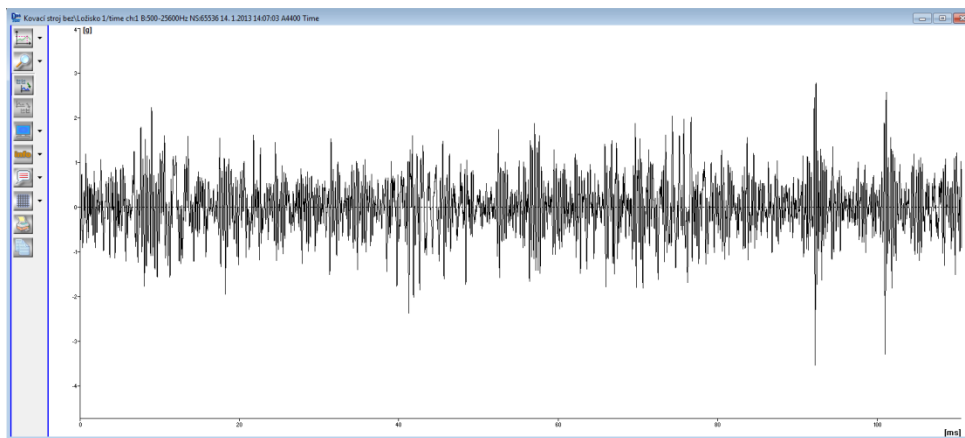
**Obr. 4-7: Zobrazení konkrétní hodnoty**

Obrázek zobrazuje frekvenční spektrum rychlosti v rozsahu 10 – 800 Hz. V grafu je zapnuta funkce pro vyhledání lokálních extrémů. V horních buňkách se pak nachází výpis hodnot extrémů a jejich příslušné frekvence.



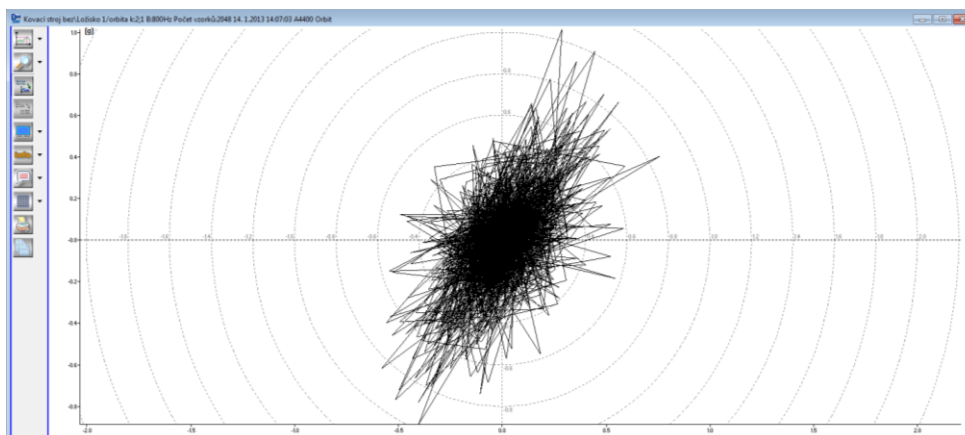
**Obr. 4-8: Zobrazení frekvenčního spektra**

Zobrazení časového záznamu zrychlení. Není zde zapnuta žádná přídavná funkce. Vodorovná osa je zobrazena v časovém rozsahu 0 – 110 ms.



**Obr. 4-9: Zobrazení časového záznamu**

Zobrazení orbity má tuto podobu. Jedná se o orbitu zrychlení. Vodorovná osa představuje ve skutečnosti horizontální směr, svislá osa směr vertikální (záleží na rozložení snímačů). Pokud bychom u orbity namísto zrychlení měřili výchylku, dostaneme skutečné zobrazení dráhy středu (osy) hřídele v místě měření.



**Obr. 4-10: Zobrazení orbity**



## 5 Současný systém údržby v CZUB

Současný systém údržby ve firmě CZUB se dělí na dva následující typy:

- systém periodické údržby SaZ,
- systém neperiodické údržby SaZ.

### 5.1 Systém údržby v CZUB podle směrnice PI-1-10-02

[8] Začlenění údržby do organizační struktury podniku popisuje organizační směrnice OS-1-10. Podrobný popis údržby a její funkční zařazení s popisem činnosti je popsáno v pracovní instrukci PI-1-10-02. A to v rámci ISO 2001. Směrnice PI-1-10-02 je platná v celé firmě. Členění údržby v CZUB je následovné:

- 1) **Prohlídky SaZ** – Plánované prohlídky zaměřené na zjištění skutečného technického stavu SaZ.
- 2) **Denní ošetřování strojů** – Soustavný dohled na provoz SaZ, mazání a čištění před začátkem směny, během směny a po skončení směny. Ve většině případů provádí obsluha stroje.
- 3) **Běžná údržba SaZ** – Zahrnuje vše z denního ošetřování stroje a navíc také odstranění drobných závad, nadměrné vůle, apod.
- 4) **Plánovaná údržba SaZ** – Jedná se o plánovité provádění všech preventivních, kontrolních a údržbových prací s cílem zabránit neočekávaným poruchám.
- 5) **Opravy SaZ** – Soubor úkonů k odstranění nebo snížení následku opotřebení, k němuž došlo při provozu.
- 6) **Oprava po poruše** – Oprava, která je prováděna až po vzniku poruchy SaZ.
- 7) **Oprava po prohlídce** – Oprava prováděná na základě výsledků periodických prohlídek, při nichž je zjišťován celkový technický stav a stupeň opotřebení. Podle toho jsou stanoveny potřebné opravy, rozsah oprav a také termín provedení.
- 8) **Plánované preventivní opravy** – Opravy prováděné v plánovaném pořadí a se stanovenou periodou s cílem zabránit nežádoucím poruchám.

## 5.2 Postup při běžné údržbě SaZ

### **Zajištění správné obsluhy a denního ošetřování**

Seznámení podřízených zaměstnanců se správnou obsluhou přiděleného SaZ, jeho každodenním ošetřováním a také běžnou údržbou je povinen zajistit mistr ve výrobě. Obsluha stroje musí být poučena a seznámena s rozsahem činností, které musí během její pracovní doby provádět. A to jak před spuštěním SaZ, tak v době provozu. Kontroly SaZ a činnosti s tím spojené jsou tedy rozděleny takto:

- v rámci denního ošetřování a běžné údržby,
- v případě nesprávného chodu nebo poruchy SaZ,
- popř. dle charakteru přiděleného SaZ.

### **Předání dokumentace pro obsluhu, údržbu a provoz SaZ**

Je nutné, aby obsluha SaZ měla vždy k dispozici dokumentaci potřebnou k provádění obsluhy, ošetřování a běžné údržby SaZ (návod k obsluze, provozní předpisy apod.) a také dokumentaci k vedení provozních záznamů – v případech, kdy je toto předpisy nebo řídicí dokumentací pro výrobu přímo vyžadováno (např. provozní deník).

### **Správně fungující obsluha SaZ**

Zajišťují zaměstnanci na přiděleném SaZ v souladu s pracovními postupy. Povinností takovéto obsluhy je udržovat příslušné provozní předpisy, stanovené pokyny a instrukce. Obsluha musí během provozu neustále sledovat a kontrolovat všechny vlastnosti SaZ důležité z hlediska zajištění správného chodu a jeho správné funkce.

### **Denní ošetřování a běžná údržba SaZ**

Denní ošetřování a běžnou údržbu SaZ provádí obsluha SaZ, a to v rozsahu a způsobem stanoveným jak příslušnými provozními předpisy, tak instrukcemi mistra ve výrobě. Rozsah činností je zhruba v tomto rozsahu:

- čištění SaZ v průběhu a po skončení směny (na začátku směny je stroj čistý od směny předešlé),
- kontrola mazání, provádění domazávání (během provozu), promazání kluzných částí (před dny pracovního klidu nebo odstávkou),
- průběžné seřizování.

### **Kontrola správné obsluhy a denního seřizování**

Zajišťuje mistr ve výrobě. Kontroluje správnost a úplnost prováděných činností prováděných obsluhou, denním ošetřováním SaZ, vedením příslušné technické (provozní) dokumentace SaZ.

### **Kontrola péče o SaZ**

Kontroly péče o příslušný SaZ jsou prováděny namátkově, a to zaměstnanci údržby. Výsledky těchto kontrol jsou zhodnocení kvality obsluhy, denního ošetřování a běžné údržby SaZ. Při zjištění nedostatků jsou tyto projednávány vedoucím technického servisu s mistrem ve výrobě, nebo se zástupci firmy.

## **5.3 Postup při zajištění neplánovaných oprav (oprav po poruše)**

### **Ohlášení poruchy**

Pokud vznikne na SaZ porucha nebo při nesprávném chodu SaZ je povinností obsluhy ihned zastavit práci a o problému neprodleně informovat mistra výroby, nebo v případě jeho nepřítomnosti mistrova zástupce. Pokud se porucha vyskytne na CNC zařízení, obsluha provede záznam do listu *Evidence prostožů SaZ*.

### **Ověření a ohlášení poruchy**

Mistr ve výrobě musí nejdříve obsluhou nahlášenou závadu ověřit. Určí tak předběžně možné příčiny, povahu poruchy, důležitost potřeby opravy a její časovou naléhavost apod. Tyto zjištěné skutečnosti poté nahlásí zástupci vedení firmy. Vedoucí po vlastním zvážení charakteru poruchy kontaktuje vedoucího technického servisu, popř. jeho zástupce.

### **Realizace oprav**

Realizace opravy závisí na rozsahu samotné poruchy. V případě drobné mechanické závady je provedena oprava přímo obsluhou SaZ. U složitějších poruch (konvenčních i CNC strojů) je oprava prováděna přivolanými pracovníky technického servisu.

### **Ověření úspěšnosti opravy**

Ověření se provede vždy dle charakteru poruchy. V případě, že porucha zasáhla důležité části SaZ, které by při výrobě součástek měli vliv na přesnost výroby, ověření

správnosti opravy je prováděno vyrobením dané součástky, která je posléze proměřena přesnými měřidly, které stanovuje technologický postup.

#### **Záznam o potvrzení opravy**

V případě, že se jednalo o drobnou opravu a tuto odstraňovala přímo obsluha stroje, provede poté tato obsluha záznam do listu *Evidence prostojů SaZ*. Pokud se jednalo o závažnější poruchu a musela být odstraněna pracovníky technického servisu, tito provedou zápis do listu *Servisní list* a také současně potvrdí zápis v listu *Evidence prostojů SaZ*. Mistr ve výrobě nebo jeho zástupce následně potvrdí svým podpisem odstranění poruchy.

### **5.4 Postup při plánování prohlídek a oprav**

Plány prohlídek jsou sestavovány pro SaZ pro realizaci výrobních úkolů. Při sestavování je brán zřetel na jejich důležitost a postavení ve výrobě.

#### **Zpracování ročního plánu PPO**

Roční plán PPO je zpracováván dle seznamu SaZ vedoucím pracovníkem technického servisu na základě:

- požadavků vyplívajících z provozních, bezpečnostních, popř. technologických předpisů,
- vyhodnocení posudků o skutečném stavu SaZ pořízených pracovníky technického servisu v rámci provádění plánovaných prohlídek, plánovaných a neplánovaných oprav,
- revizních zpráv prováděných školenými a státními orgány a jejich zkušenými pracovníky.

#### **Projednání a schválení Ročního plánu PPO**

Zpracovatel plánu projedná tento se zástupci firmy a popř. provede dohodnuté změny a úpravy plánu. *Roční plán* je schválen podpisem vedoucího technického servisu a jmenovaným zástupcem firmy pro oblast SaZ.

### **Zpracování *Měsíčního plánu PPO***

Zpracování *Měsíčního plánu* je prováděno vedoucím pracovníkem technického servisu, a to na základě již předtím schváleného *Ročního plánu*. *Měsíční plán* je zpracováván jak pro konvenční, tak pro CNC stroje.

### **Projednání a schválení *Měsíčního plánu PPO***

Je zřejmé, že *Měsíční plán* je příkazem k uvolnění SaZ z důvodu plánované prohlídky. Musí být proto projednán a schválen vedoucím technického servisu a zároveň i jmenovaným zástupcem firmy pro oblast SaZ.

### **Technická příprava prohlídek a oprav**

O provedení technické přípravy prohlídky (opravy) rozhoduje vedoucí technického servisu. Na základě provozních podmínek SaZ, návodů na obsluhu stroje, provozních předpisů a technickém stavu SaZ však musí nejprve posoudit rozsah a složitost plánovaných prohlídek.

### **Příprava a technické zajištění prohlídek (oprav)**

Pokud je stanoveno provedení technické přípravy prohlídky (opravy), zpracuje vedoucí technického servisu *Oprávérenskou rozpisku*, která určí seznam skupin a činností, které budou předmětem preventivní prohlídky (opravy) na konkrétním SaZ.

## **5.5 Postup při provádění plánovaných prohlídek**

### **Předávání podkladů**

Vedoucí technického servisu předá pracovníkům technického servisu *Měsíční plán PPO* a *Protokol o preventivní prohlídce SaZ* nebo *Oprávérenskou rozpisku*, pokud bylo rozhodnuto o technické přípravě prohlídky (opravy). V případě prohlídky konvenčních SaZ slouží *List plánované prohlídky (opravy)* jako podklad pro *Protokol o preventivní prohlídce SaZ*.

### **Provedení prohlídky (opravy)**

Veškeré činnosti dle příslušných předepsaných podkladů provádí pověřený pracovník technického servisu.

### **Záznam o preventivní prohlídce (opravě)**

Záznamy o provedené prohlídce (opravě) vyplňují pracovníci technického servisu. Tyto záznamy se liší v závislosti na druhu stroje:

- U konvenčních SaZ se jedná o *List plánované prohlídky (opravy)*.
- Pro CNC SaZ je to *Protokol o preventivní prohlídce*.

Pracovníci, kteří provedli prohlídku (opravu), vyplní příslušné podklady a ty pak předají vedoucímu technického servisu. Tento vytvoří kopii příslušného dokumentu, kterou následně předá jmenovanému zástupci firmy pro oblast SaZ.

### **Sledování a vyhodnocení výsledků PPO**

Výsledky PPO vyhodnotí vedoucí technického servisu a posoudí zjištěné skutečnosti. Dle potřeby naplánuje provedení dalších odpovídajících opravárenských úkonů.

## **5.6 Opravy zajišťované externími organizacemi**

Opravárenské úkony, které jsou zajištěny externími firmami, jsou z pohledu firmy brány jako nakupované služby. Jedná se o úkony, které není firma samotná schopna zvládnout v celém rozsahu nebo kvalitě, popř. by opravárenský úkon samotný byl pro firmu příliš velkou časovou či finanční zátěží. Jedná se o tyto po sobě jdoucí kroky:

- 1) posouzení opravy,
- 2) výběr dodavatele,
- 3) vystavení objednávky,
- 4) schválení a zaevidování objednávky,
- 5) realizace opravy,
- 6) předání SaZ do provozu,
- 7) sledování SaZ v záruční době.

## 6 Kovací stroje SHK-10

Kovací stroje SHK-10 jsou pro svůj účel stěžejními výrobními stroji ve firmě CZUB. Vyrábějí nejdůležitější součásti palných zbraní – hlavně (s drážkovými nebo hladkými vývrty). Ve firmě CZUB se nachází celkem 2 kovací stroje SHK-10. Výrobcem těchto strojů je rakouská firma GFM. Jejich označení ve firmě je *SHK-10 č. 1* a *SHK-10 č. 2*.

Kovací stroj SHK-10 č. 1 byl vyroben v roce 1992, má proto menší celkové rozměry, než SHK-10 č. 2 a také má možnost většího přestavení kovacíh kladiv. U stroje SHK-10 č. 1 proběhla GO v roce 2005. Má mechanické podávání polotovarů a odjímání výkovků hlavní.

Kovací stroj SHK-10 č. 2 byl vyroben v roce 1979, tedy o 13 let dříve. Vyniká proto masivnější konstrukcí, většími rozměry a také menší možností přestavení kladiv. Stroj SHK-10 č. 2 byl kompletně rekonstruován a modernizován výrobcem v roce 2012, je u něj tedy předpoklad, že bude vykazovat lepší technický stav než je tomu u stroje č. 1. Mechanické podávání a odjímání bylo u tohoto stroje nahrazeno automatickým robotem Fanuc.



Obr. 6-1: Pohled na kovací stroj SHK-10

## 6.1 Princip kování hlavní zbraní

Celý postup kování hlavně obsahuje vždy tyto po sobě jdoucí kroky:

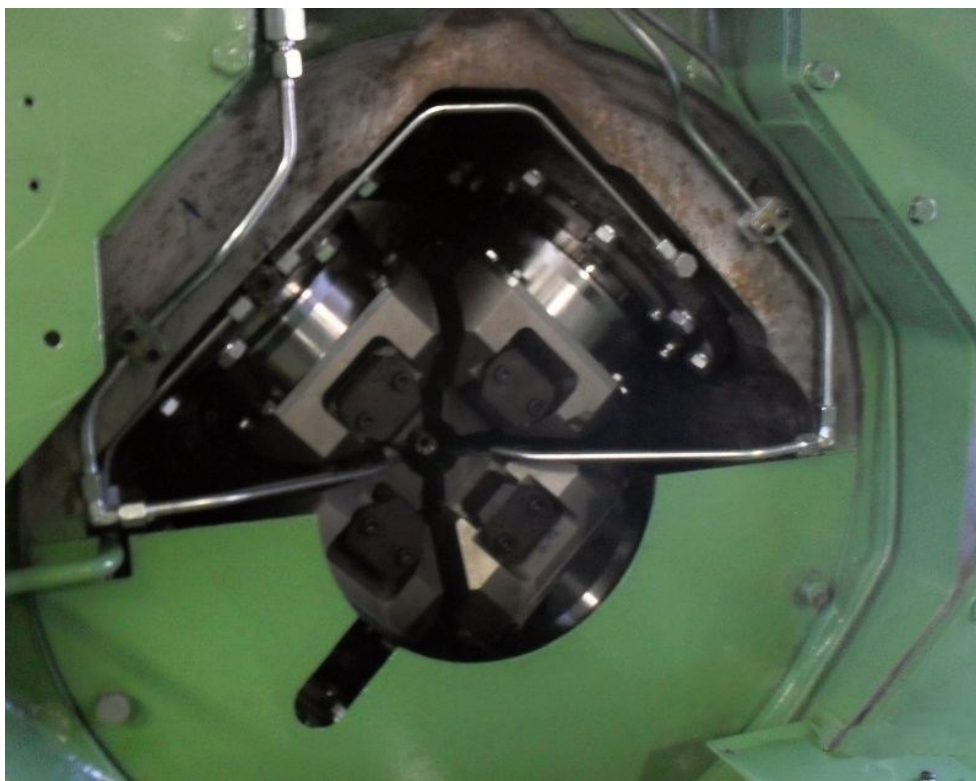
- 1) Vnitřní plocha polotovaru je vymazána olejem.
- 2) Polotovaz hlavně je podavačem (u stroje č. 1) nebo automatickým robotem (u stroje č. 2) dopraven a přidržen v horizontální poloze v ose následujícího posuvného pohybu přidržovače.
- 3) Přidržovač sevře polotovaz na jeho širším konci.
- 4) Dovnitř polotovaru je umístěno dlouhé jádro (trn) ze slitiny o velké tvrdosti (na povrchu jádra se nachází negativ vývrtu hlavně vyráběné ráže).
- 5) Jádro je na druhém konci uchyceno do držáku (aby zůstala zachována stejná osa kování).
- 6) Přidržovač zahájí posuvný pohyb dopředu (tlačí polotovaz hlavně mezi 4 kovací kladiva), přičemž polotovazem otáčí kolem vlastní osy. Polotovaz tak koná šroubovitý pohyb.
- 7) Materiál polotovaru je postupně kovacími kladivy hutněn na výsledný menší průměr. Přitom se tlačí na jádro uvnitř, kde se tak tvoří vývrt. Kování probíhá za studena, při teplotě do 30 °C. Chlazení je zajištěno neustálým proudem chladicí kapaliny, která je odváděna a filtrována. Poté je připravena k dalšímu použití.
- 8) Kování je u konce, až je takto zhutněn materiál po celé délce. Výsledkem je, že výkovek je delší a má menší průměr, než polotovaz.
- 9) Šroubovitým pohybem zpět (kvůli již hotovému vnitřnímu vývrtu) je vytaženo jádro z hotového výkovku.
- 10) Výkovek je odstaven na odkládací stůl. Poté jej musí převzít a zkontrolovat obsluha stroje a také čisticí bavlnou vytřít zevnitř zbytky oleje.

### Výhody plynoucí z kování hlavní

Metoda kování hlavní za studena se dělá ze dvou velmi důležitých důvodů.

- Zajišťuje v podstatě snadný způsob výroby jinak složitě vyrobitelného vývrtu hlavně.
- Tvářením (hutněním) materiálu za studena dostává výkovek lepší materiálově – fyzikální vlastnosti, tzn. větší tvrdost a pevnost.





Obr. 6-2: Pohled na kovací kladiva



Obr. 6-3: Porovnání - polotovaru a výkovek

## 6.2 Hlavní parametry strojů SHK-10

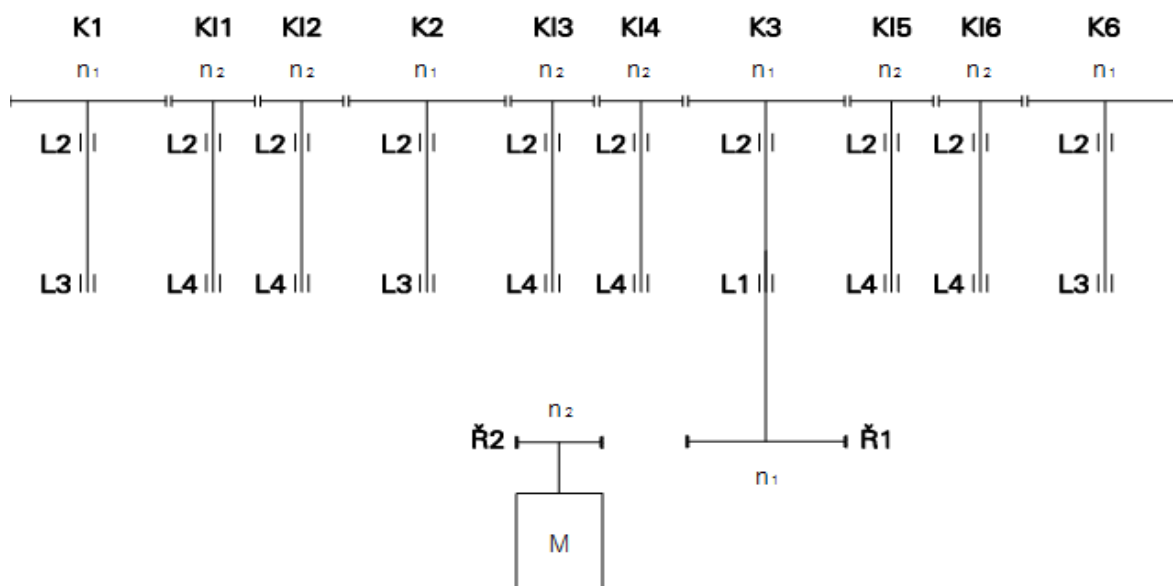
Pro tuto i pro následující kapitolu byly použity informace z technické dokumentace firmy CZUB. [9]

- Označení strojů
  - SHK-10 č. 1 (bez robota) 102.843
  - SHK-10 č. 2 (s robotem) 101.759
- Rok výroby
  - SHK-10 č. 1 1992
  - SHK-10 č. 2 1979

• Počet kovacíh kladiv	4	
• Maximální kovací síla jednoho kladiva	1 250 N	
• Počet úderů kladiva	1 000 min <sup>-1</sup>	
• Délka kladiva	158 mm	
• Rozsah přestavení kladiva na průměru		
○ SHK-10 č. 1	35 mm	
○ SHK-10 č. 2	30 mm	
• Maximální kovací průměr (průměr výkovku)	Ø 45 mm	
• Maximální délka obrobku	900 mm	
• Nastavitelná rychlost posuvu upínací hlavy	1,7 – 12 mm·s <sup>-1</sup>	
• Elektrický jmenovitý výkon	140 kW	
• Pracovní napětí	280 V, 50 Hz	
• Ovládací napětí	220 V, 50 Hz	
• Vstupní teplota chladicí kapaliny	max. 30 °C	
• Spotřeba chladicí kapaliny	9 m <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup>	
• Kovací výška (nad podlahou)	1 250 mm	
• Celková výška	2 300 mm	
• Celková délka		
○ SHK-10 č. 1	8 100 mm	
○ SHK-10 č. 2	10 090 mm	
• Celková šířka		
○ SHK-10 č. 1	3 070 mm	
○ SHK-10 č. 2	4 650 mm	
• Hmotnost		
○ SHK-10 č. 1	22 000 kg	
○ SHK-10 č. 2	29 000 kg	
• Používané provozní kapaliny (oleje)		
○ Oběhové mazání	KV 68 – STATOIL	900 l
○ Hydraulika	OH HM 46 – STATOIL	800 l

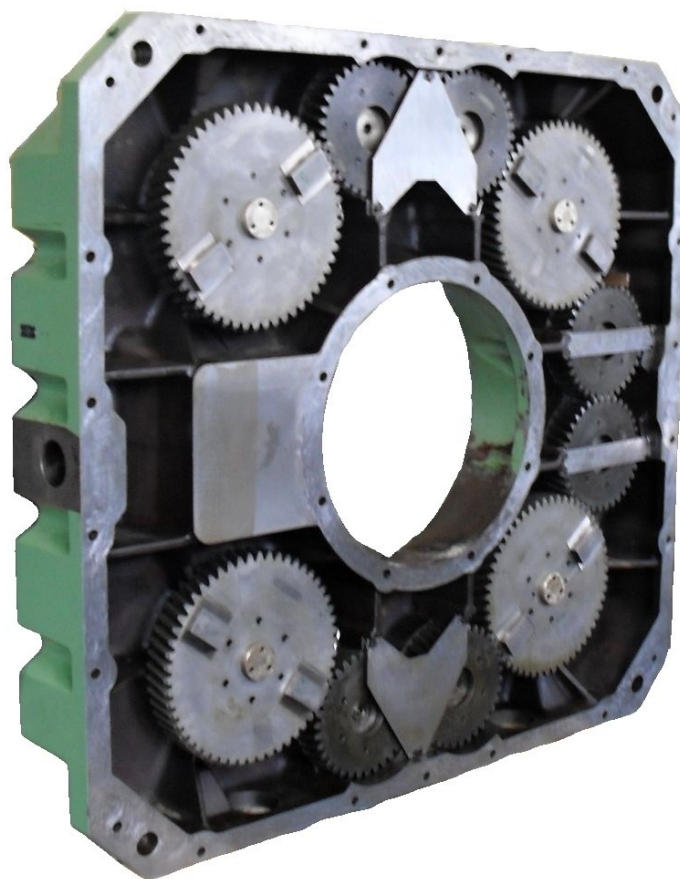
## 6.3 Popis strojů SHK-10

### 6.3.1 Schéma převodového ústrojí s legendou



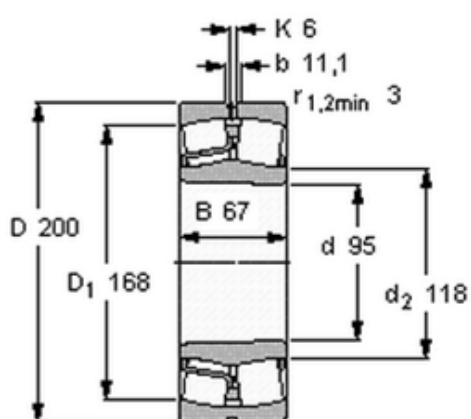
Obr. 6-4: Schéma převodového ústrojí kovacího stroje

- |                         |                                                                                                       |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>M</b>                | Elektromotor 75W.                                                                                     |
| <b>L1</b>               | Ložisko soudečkové dvouřadé SKF 22319 EK, umístění na hlavní (hnací) hřídeli s ozubeným kolem K3.     |
| <b>L2</b>               | Ložisko válečkové FAG NU 2220 E, umístění na všech hřídelích s ozubenými koly K1 – 4 a KI1 – KI6.     |
| <b>L3</b>               | Ložisko soudečkové dvouřadé SKF 22218 EK, umístění na hlavních hřídelích s ozubenými koly K1, K2, K4. |
| <b>L4</b>               | Ložisko válečkové FAG NU 2217 E, umístění na vedlejších hřídelích s ozubenými koly KI1 – KI6.         |
| <b>K1 – K4</b>          | Ozubená kola s čelními šikmými zuby, umístění v hnacím ústrojí, označena jako kola hlavní.            |
| <b>KI1 – KI6</b>        | Ozubená kola s čelními šikmými zuby, umístění v hnacím ústrojí, označení jako kola vedlejší.          |
| <b>Ř1</b>               | Klínová řemenice $1000 \text{ min}^{-1}$ .                                                            |
| <b>Ř2</b>               | Klínová řemenice $1474 \text{ min}^{-1}$ .                                                            |
| <b><math>n_1</math></b> | Otáčky hlavních kol a řemenice Ř1 ( $1000 \text{ min}^{-1}$ ).                                        |
| <b><math>n_2</math></b> | Otáčky vedlejších kol a řemenice Ř2 ( $1474 \text{ min}^{-1}$ ).                                      |

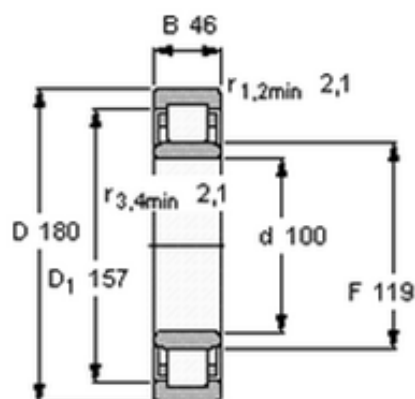


Obr. 6-5: Pohled na převodové ústrojí zevnitř [9]

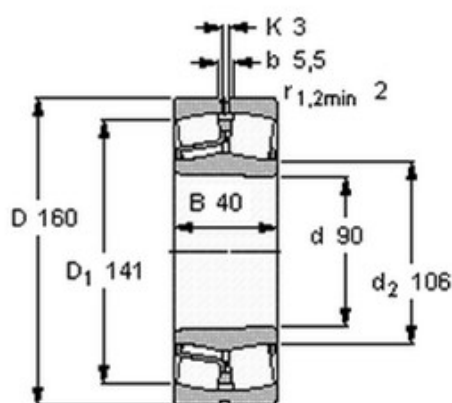
### 6.3.2 Rozměry ložisek



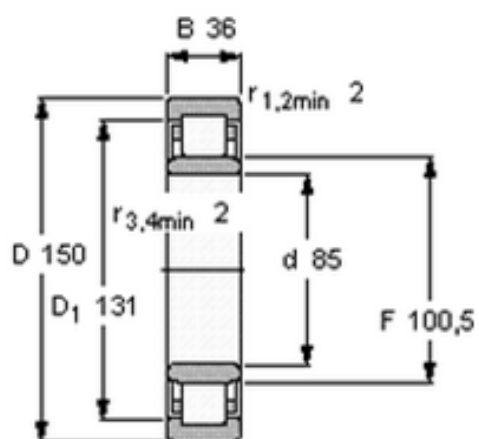
Obr. 6-6: Ložisko soudečkové dvouřadé SKF 22319 EK [19]



Obr. 6-7: Ložisko válečkové FAG NU 2220 E [19]



Obr. 6-8: Ložisko soudečkové dvouráde SKF 22218 EK [19]



Obr. 6-9: Ložisko válečkové FAG NU 2217 E [19]

## 6.4 Frekvenční charakteristika kovacích strojů

Aby bylo možné ze všech naměřených hodnot vibrací na kovacích strojích posoudit jejich přesný původ a podle toho jejich závažnost, je nejprve potřeba si vypočítat všechny frekvence, které se na stroji objevují. Bez vypočtení jednotlivých frekvencí není možná analýza frekvenčních spekter, případně spekter obálky pro valivá ložiska, neboť neznáme konkrétní zdroje vibrací. Hlavní frekvence objevující se v kovacích strojích jsou:

- otáčkové frekvence hřídelí a jejich násobky ( $f_1, f_2$ ),
- zubová frekvence ozubeného soukolí ( $f_{z1}, f_{z2}$ ),
- frekvenční charakteristika valivých ložisek ( $f_i, f_e, f_c, f_r, f_{ip}, f_{ep}, f_{rp}$ ).

### 6.4.1 Otáčková frekvence

Jelikož se v převodové skříní nachází dva typy hřídelí (4 hlavní a 6 vedlejších), je nutné určit si dvě otáčkové frekvence. Pro každý typ hřídele zvlášť.

#### Otáčková frekvence $f_1$ hlavních hřídelí

Vychází z počtu úderů kladiv za minutu. Tuto frekvenci je možné také určit z otáček elektromotoru a přepočtem převodu klínovými řemeny. Konstrukcí kovacích skříní je dáno, že na jeden úder kladiva připadá přesně jedno otočení hlavní hřídele. Výpočet využívající počet úderů kladiva je proto přesnější a také jednodušší.

- Počet úderů kladiva (= počtu otáček hlavní hřídele)  $n_1 = 1000 \text{ min}^{-1}$

Pokud je známý počet otáček, otáčková frekvence hlavní hřídele se určí z následujícího vzorce.

$$f_1 = \frac{n_1}{60} \quad \text{Hz} \quad (6.1)$$

$$f_1 = \frac{1000}{60} = 16,67 \text{ Hz}$$

Pozn.: Z uvedeného je jasné, že otáčková frekvence je shodná s frekvencí úderů kladiv (velké rázy), je proto předpoklad, že se tato frekvence a její násobky budou ve větší míře vyskytovat ve všech frekvenčních spektrech.

### Otáčková frekvence $f_2$ vedlejších hřídelí

Otáčky vedlejší hřídele lze určit z převodového poměru mezi ozubenými koly. Počty zubů na kolech jsou:

- počet zubů hlavních kol  $z_1 = 84$
- počet zubů vedlejších kol  $z_2 = 57$

Přepoččet pro zjištění otáček  $n_2$  vedlejších hřídelí:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \Rightarrow n_2 = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2} \quad \text{min}^{-1} \quad (6.2)$$

$$n_2 = 1000 \cdot \frac{84}{57} = 1474 \text{ min}^{-1}$$

Otáčková frekvence  $f_2$  vedlejších hřídelí:

$$f_2 = \frac{n_2}{60} \quad \text{Hz} \quad (6.3)$$

$$f_2 = \frac{1474}{60} = 24,57 \text{ Hz}$$

### 6.4.2 Zubová frekvence ozubených kol

Ze známých otáčkových frekvencí zjistíme jednoduše frekvence zubové:

$$f_{z1} = f_1 \cdot z_1 \quad \text{Hz} \quad (6.4)$$

$$f_{z1} = 16,67 \cdot 84 = 1400 \text{ Hz}$$

$$f_{z2} = f_2 \cdot z_2 \quad \text{Hz} \quad (6.5)$$

$$f_{z2} = 24,57 \cdot 57 = 1400 \text{ Hz}$$

Jelikož se vždy jedná o spolu zabírající ozubené kola, je patrné, že zubová frekvence (přesněji frekvence záběru ozubených kol) je na všech ozubených kolech stejná.

### 6.4.3 Frekvenční charakteristiky valivých ložisek

Frekvenční charakteristiky (frekvence vad ložisek) lze získat na webových stránkách firmy SKF, kde je umístěn tzv. „Bearing Calculator“ viz [19]. Postup je následovný – vyhledáme a určíme požadovaný typ ložiska, vybereme požadovaný výpočet a zadáme otáčky vnějšího a vnitřního kroužku ložiska.

- 1) Pokud se otáčí vnější i vnitřní kroužek ložiska, zadáme jejich velikost otáček.
- 2) Pokud vnější kroužek stojí a otáčí se pouze vnitřní, přiřadíme vnějšímu kroužku hodnotu 0.
- 3) Pokud vnitřní kroužek stojí a otáčí se pouze vnější, přiřadíme vnitřnímu kroužku hodnotu 0.

**Ložisko soudečkové dvouřadé SKF 22319 EK**

Otáčky  $n_1 = 1000 \text{ min}^{-1}$ .

**Tabulka 1 - Frekvence ložiska SKF 22319 EK**

Ozn.	Popis	Frekv. [Hz]
$f_i$	Otáčková frekvence vnitřního kroužku	16,7
$f_e$	Otáčková frekvence vnějšího kroužku	0
$f_c$	Otáčková frekvence klece s valivými elementy	6,84
$f_r$	Otáčková frekvence valivého elementu kolem vlastní osy	44,1
$f_{ip}$	Frekvence vady na vnitřním kroužku	157
$f_{ep}$	Frekvence vady na vnějším kroužku	110
$f_{rp}$	Frekvence vady na valivém elementu	88,2

**Ložisko válečkové FAG NU 2220 E**

Otáčky  $n_1 = 1000 \text{ min}^{-1}$ .

**Tabulka 2 - Frekvence ložiska FAG NU 2220 E**

Ozn.	Popis	Frekv. [Hz]
$f_i$	Otáčková frekvence vnitřního kroužku	16,7
$f_e$	Otáčková frekvence vnějšího kroužku	0
$f_c$	Otáčková frekvence klece s valivými elementy	7,03
$f_r$	Otáčková frekvence valivého elementu kolem vlastní osy	52,1
$f_{ip}$	Frekvence vady na vnitřním kroužku	164
$f_{ep}$	Frekvence vady na vnějším kroužku	120
$f_{rp}$	Frekvence vady na valivém elementu	104



**Ložisko válečkové FAG NU 2220 E**Otáčky  $n_2 = 1474 \text{ min}^{-1}$ .**Tabulka 3 - Frekvence ložiska FAG NU 2220 E**

Ozn.	Popis	Frekv. [Hz]
$f_i$	Otáčková frekvence vnitřního kroužku	24,6
$f_e$	Otáčková frekvence vnějšího kroužku	0
$f_c$	Otáčková frekvence klece s valivými elementy	10,4
$f_r$	Otáčková frekvence valivého elementu kolem vlastní osy	76,8
$f_{ip}$	Frekvence vady na vnitřním kroužku	241
$f_{ep}$	Frekvence vady na vnějším kroužku	176
$f_{rp}$	Frekvence vady na valivém elementu	154

**Ložisko soudečkové dvouřadé SKF 22218 EK**Otáčky  $n_1 = 1000 \text{ min}^{-1}$ .**Tabulka 4 - Frekvence ložiska SKF 22218 EK**

Ozn.	Popis	Frekv. [Hz]
$f_i$	Otáčková frekvence vnitřního kroužku	16,7
$f_e$	Otáčková frekvence vnějšího kroužku	0
$f_c$	Otáčková frekvence klece s valivými elementy	7,14
$f_r$	Otáčková frekvence valivého elementu kolem vlastní osy	56,5
$f_{ip}$	Frekvence vady na vnitřním kroužku	190
$f_{ep}$	Frekvence vady na vnějším kroužku	143
$f_{rp}$	Frekvence vady na valivém elementu	113

**Ložisko válečkové FAG NU 2217 E**Otáčky  $n_2 = 1474 \text{ min}^{-1}$ .**Tabulka 5 - Frekvence ložiska FAG NU 2217 E**

Ozn.	Popis	Frekv. [Hz]
$f_i$	Otáčková frekvence vnitřního kroužku	24,6
$f_e$	Otáčková frekvence vnějšího kroužku	0
$f_c$	Otáčková frekvence klece s valivými elementy	10,5
$f_r$	Otáčková frekvence valivého elementu kolem vlastní osy	76,3
$f_{ip}$	Frekvence vady na vnitřním kroužku	254,7
$f_{ep}$	Frekvence vady na vnějším kroužku	187,2
$f_{rp}$	Frekvence vady na valivém elementu	158

## 7 Návrh systému měření kovacích strojů SHK-10

Návrh systému měření (neboli návrh kompletního diagnostického systému) se skládá z následujících částí.

- Volba měřicích přístrojů,
- volba měřicích míst na kovacích strojích,
- volba struktury dat,
- výběr vhodných veličin pro měření,
- volba metod a stanovení jejich alarmujících hodnot.

### 7.1 Měřicí přístroje

#### Termokamera FLUKE Ti32

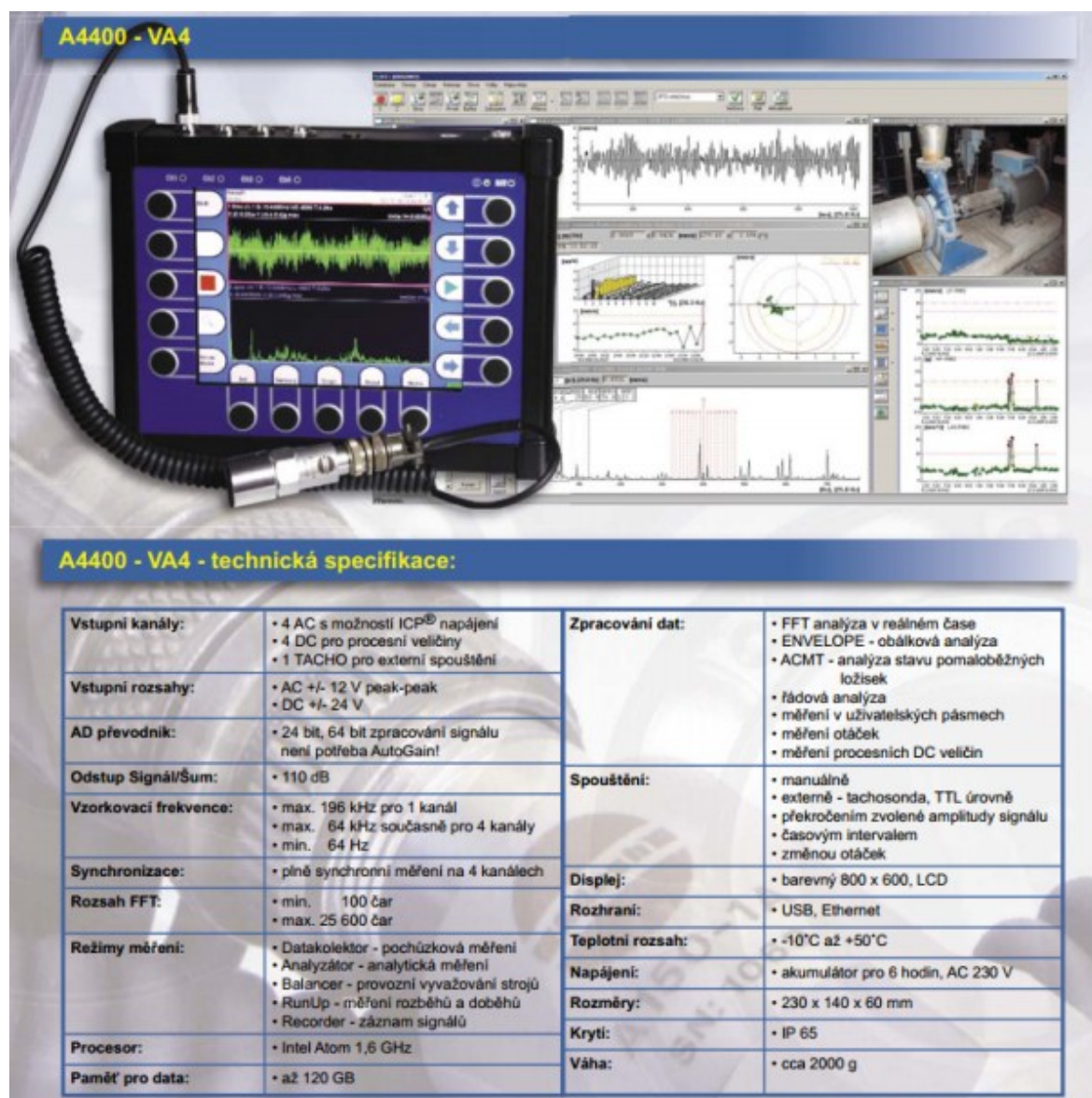
[16] Jedná se o ruční termovizní kameru, která je optimalizovaná pro průmyslovou a komerční údržbu zařízení. Zobrazení tepelných a optických snímků je na LCD displeji, lze je také uložit na SD kartu, jejíž slot je v přístroji obsažen. Pro práci se snímky slouží software SmartView, prodáváný spolu s přístrojem.

Podrobné specifikace		
<b>Teplota</b>      	<b>Rozsah měření teploty (není kalibrováno pod -10 °C)</b>	-20 °C až +600 °C (-4 °F až +1 112 °F)
	<b>Přesnost měření teplot</b>	±2 °C nebo 2 % (při jmenovité teplotě 25 °C, platí vyšší hodnota)
	<b>Korekce emisivity na displeji</b>	Ano
	<b>Kompensace odražené teploty pozadí na obrazovce</b>	Ano
	<b>Korekce přenosu na obrazovce</b>	Ano
	<b>Kvalita zobrazování</b>	
	<b>Typ detektoru</b>	320 x 240 ohniskový rovinný svazek, nechlazený mikrobolometr
	<b>Teplotní citlivost (NETD)</b>	≤0,045 °C (45 mK)
	<b>Celková pixelov</b>	76.800
	<b>Infračervené spektrální pásmo</b>	7,5 μm až 14 μm (dlouhé vlny)
	<b>Optická kamera (viditelné světlo)</b>	Průmyslový výkon 2,0 megapixelu
	<b>Minimální vzdálenost ostření</b>	46 cm (přibl. 18")
	<b>Standardní typ infračerveného objektivu</b>	Zorné pole: 23° x 17° Prostorové rozlišení (IFOV): 1,25 mRad Minimální vzdálenost ostření: 15 cm (přibl. 6")
	<b>Volitelný typ infračerveného teleobjektivu</b>	Zorné pole: 11,5° x 8,7° Prostorové rozlišení (IFOV): 0,63 mRad Minimální vzdálenost ostření: 45 cm (přibl. 18")
	<b>Volitelný typ širokoúhlého infračerveného objektivu</b>	Zorné pole: 46° x 34° Prostorové rozlišení (IFOV): 2,50 mRad Minimální vzdálenost ostření: 7,5 cm (přibl. 3")
	<b>Mechanismus ostření</b>	Ruční, možnost obsluhy jednou rukou (Smart Focus)

Obr. 7-1: Parametry Ti32 [16]

## Adash A4400 – VA4Pro

[14] Jedná se o profesionální 4kanálový analyzátor vibrací / rekordér určený pro diagnostiku poruch, vyvažování a sběr dat. Vnitřní paměť je 120 GB a přístroj tak umožňuje nepřetržité nahrávání 4 signálů s frekvencí 25,6 kHz po dobu až 35 hodin. Pro kopírování dat a práci s nimi slouží software DDS 2011.

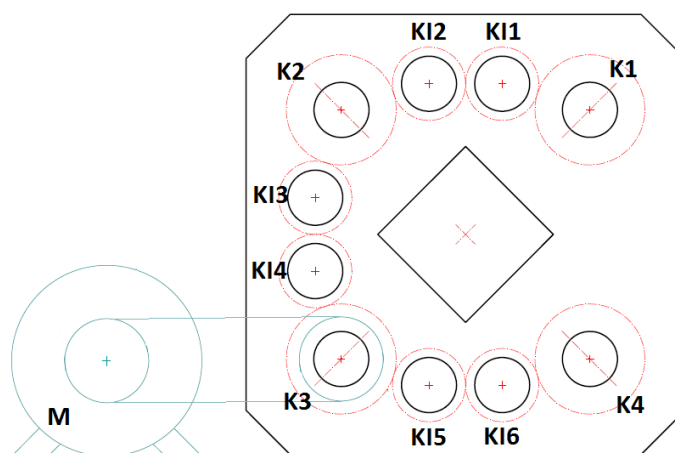


Obr. 7-2: Parametry A4400 - VA4 [14]

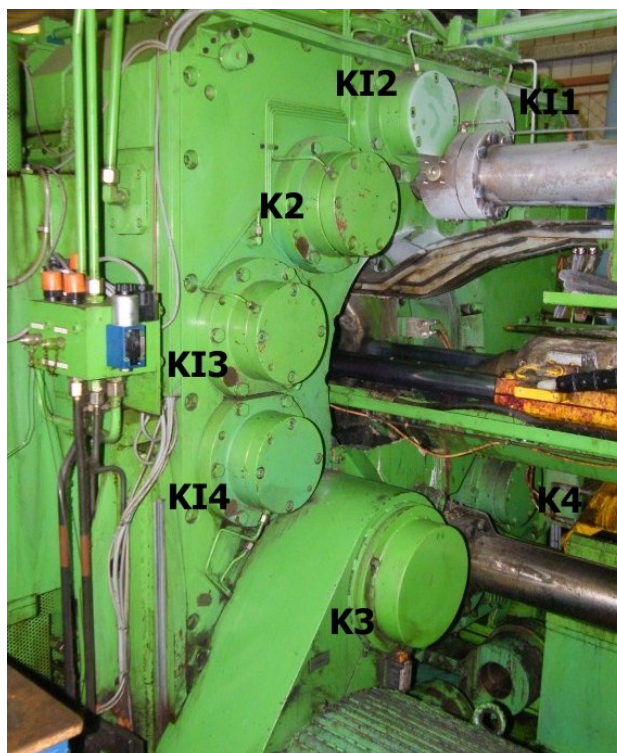
## 7.2 Návrh měřicích míst na kovacích strojích

Pro zjišťování hodnot vibrací na kovacích strojích byla vybrána kovací skříň, konkrétně 10 míst, kde se nachází ložiskové domky pro ložiska L1, L3 a L4. Všechny ložiska L2 jsou umístěna uvnitř kovací skříně a nebylo tedy možné přímé měření na jejich domcích. Místa byla označena podle ozubených kol, na kterých se dané ložiska nachází.

- **K1, K2, K3, K4** – Měřicí místa, kde se nachází hlavní kola.
- **KI1, KI2, KI3, KI4, KI5, KI6** – Měřicí místa, kde se nachází vedlejší kola.



Obr. 7-3: Schéma měřicích míst kovací skříně



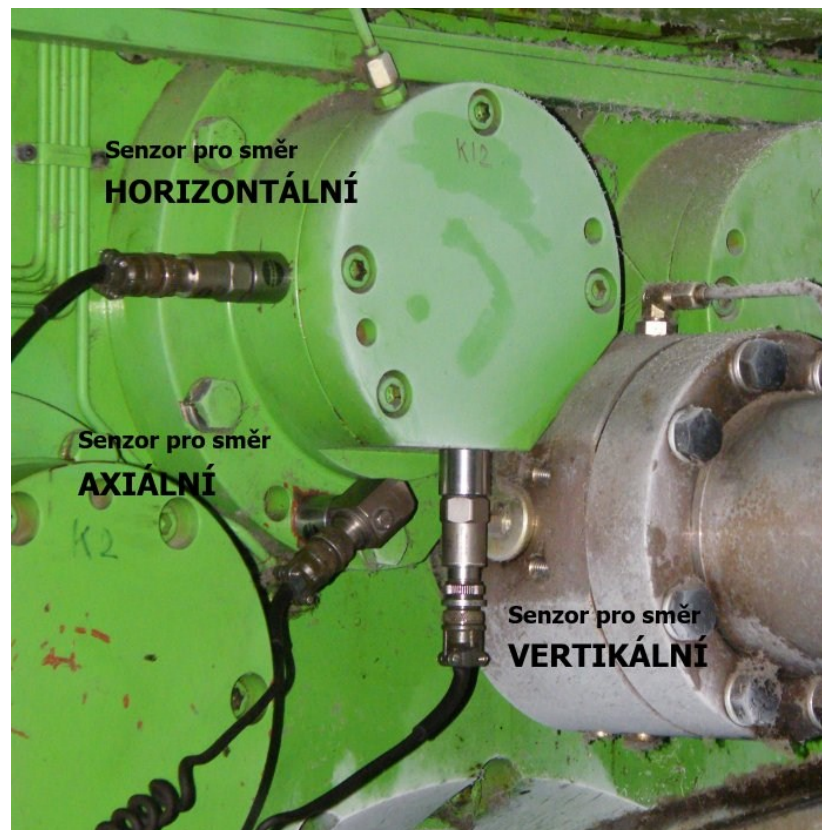
Obr. 7-4: Pohled na měřicí místa



Měření přístrojem Adash A4400 – VA4 probíhalo vždy ve třech směrech, číslování značí pořadí kanálů v přístroji.

- 1) **Vertikální směr,**
- 2) **horizontální směr,**
- 3) **axiální směr.**

Umístění snímačů pro měření je zobrazeno na obrázku.



**Obr. 7-5: Umístění snímačů na domku ložiska**

Pozn.: Pochůzkové měření vibrací u kovacích strojů ve firmě CZUB přístrojem MicroVibe P CMVL je prováděno pouze ve dvou směrech – vertikálním a horizontálním.

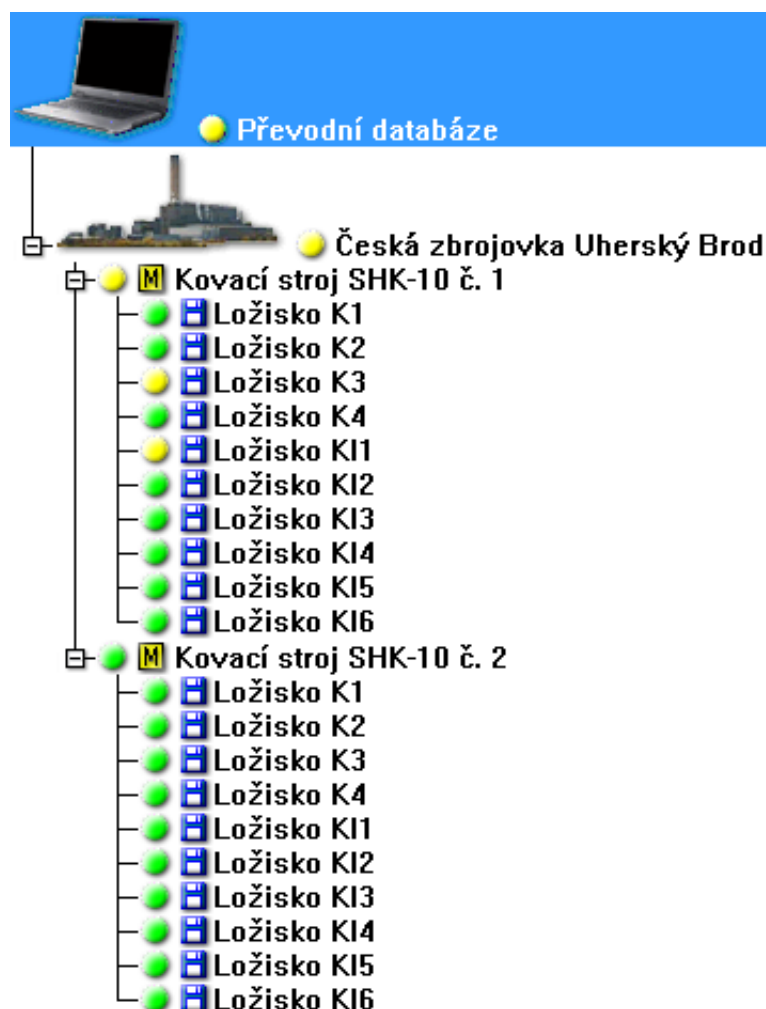
Systém měření termovizní kamerou FLUKE Ti32 byl zvolen následovně:

1. Zkoumání teplot právě měřených ložiskových domků.
2. Komplexní zkoumání teplot celého kovacího stroje.

Uloženy do paměti přístroje byly snímky, na kterých byla objevena zvýšená teplota nad hranici běžné pracovní teploty stroje 40 – 50 °C (podle místa měření, po konzultaci s obsluhou stroje a technickým pracovníkem firmy).

### 7.3 Návrh stromu v softwaru DDS 2011

Jelikož se diplomová práce zabývá pouze dvěma kovacími stroji SHK-10 a proběhla pouze měření nezbytně nutná pro získání hodnot vibrací, nebylo nutné vytvářet kompletní strom firmy. Technický úsek údržby firmy CZUB v této době není vlastníkem softwaru DDS 2011 ani žádného měřicího přístroje jako Adash A4400 – VA4.



Obr. 7-6: Návrh jednoduchého stromu pro měření

#### 7.3.1 Návrh měřených veličin

Přístroj umožňuje zjistit velké množství veličin. Nastavení těchto veličin je univerzální. Standardně se používá pro potřeby VŠB-TU Ostrava při měření vibrací u různých typů zařízení. Data, která nebyla vybrána pro přímé sledování na kovacíh strojích, jsou potřebná při zkoumání případných nejasností. Všechny měřené veličiny na kovacíh strojích jsou následující:

---

➤ <b>efektivní hodnota rychlosti dle ČSN ISO 10816</b>	<b>10 – 1 000 Hz</b>
➤ <b>efektivní hodnota zrychlení</b>	<b>500 – 25 600 Hz</b>
➤ frekvenční spektrum rychlosti	10 – 800 Hz
➤ ACMT – analýza stavu pomaluběžných ložisek	1 024 Hz
➤ efektivní hodnota zrychlení obálky	500 – 25 600 Hz
➤ frekvenční spektrum zrychlení obálky	1 600 Hz
➤ časový záznam zrychlení	500 – 25 600 Hz
➤ časový záznam zrychlení	500 – 12 800 Hz
➤ <b>frekvenční spektrum zrychlení</b>	<b>10 – 25 600 Hz</b>
➤ <b>frekvenční spektrum rychlosti</b>	<b>1 – 12 800 Hz</b>
➤ časový záznam zrychlení	1 – 6 400 Hz
➤ orbita zrychlení	800 Hz
➤ efektivní hodnota zrychlení	500 – 10 000 Hz
➤ efektivní hodnota zrychlení	10 000 – 25 000 Hz

Pro posouzení a vyhodnocení stavu kovacích strojů SHK-10 byly zvoleny 4 hlavní veličiny, které jsou ve výčtu vyznačeny tučně.

### 7.3.2 Návrh alarmujících hodnot zkoumaných veličin

Mezní hodnoty byly navrhnuty a ustanoveny pro první 2 sledované veličiny:

- RMS rychlosti v oblasti 10 – 1 000 Hz,
- RMS zrychlení v oblasti 500 – 25 600 Hz.

Při ustanovování mezních veličin byl brát v úvahu fakt, že se jedná o středně velký, až velký kovací stroj, při jehož práci vznikají velké rázy, jejichž nadměrné vibrace se šíří celou konstrukcí. Pro určení mezních veličin RMS rychlosti vibrací posloužila norma ČSN *ISO 10816-3: Mohutnost vibrací* [13], která je součástí příloh. Jelikož neexistuje žádná norma i pro hodnocení zrychlení, mezní hodnoty RMS zrychlení vibrací byly určeny na základě konzultace s vedoucím diplomové práce.

### Alarmující hodnoty pro RMS rychlosti

Dolní varovná ani kritická hranice nebyla nastavena. Horní varovná hranice byla ustanovena na hodnotu  $4 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , horní kritická hranice na hodnotu  $5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Kritické hodnoty absolutní:

[mm/s]

Varovná dolní:	<input type="checkbox"/>	0.5
Kritická dolní:	<input type="checkbox"/>	0.0
Varovná horní:	<input checked="" type="checkbox"/>	4.0
Kritická horní:	<input checked="" type="checkbox"/>	5.0

Obr. 7-7: Mezní hodnoty rychlosti

### Alarmující hodnoty pro RMS zrychlení

Dolní varovná ani kritická hranice nebyla nastavena. Horní varovná hranice byla ustanovena na hodnotu 1,2 g, horní kritická hranice na hodnotu 2 g.

Kritické hodnoty absolutní:

[g]

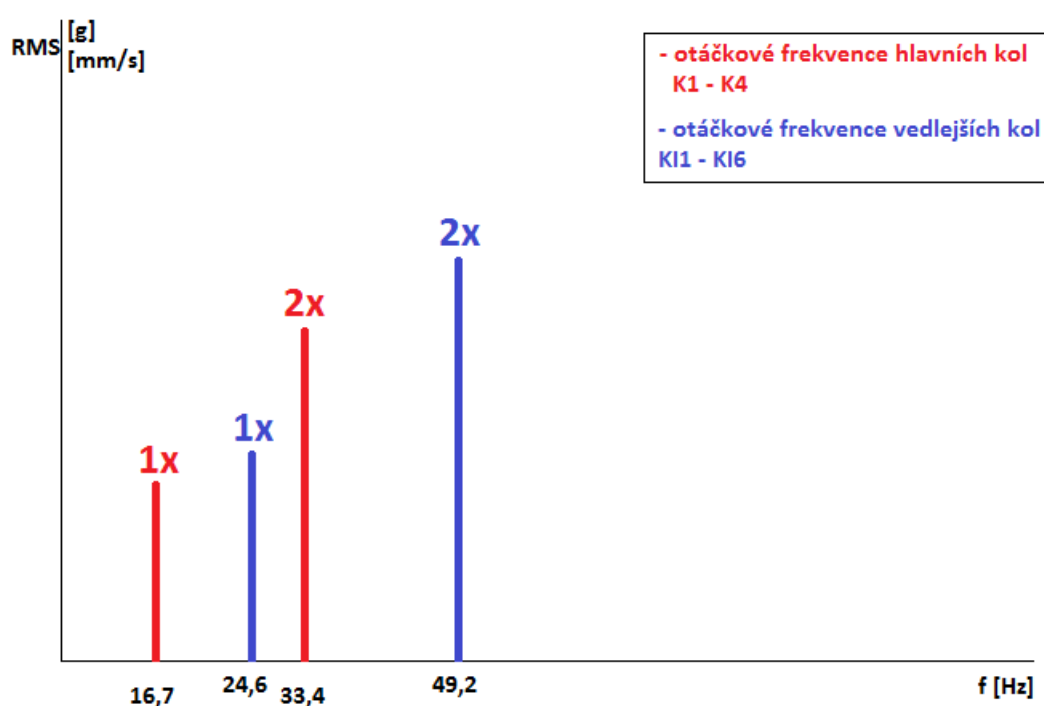
Varovná dolní:	<input type="checkbox"/>	0.0
Kritická dolní:	<input type="checkbox"/>	0.0
Varovná horní:	<input checked="" type="checkbox"/>	1.2
Kritická horní:	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0

Obr. 7-8: Mezní hodnoty zrychlení



## 8 Výsledky měření

Při zkoumání všech frekvenčních spekter je důležité se zaměřit hlavně na účinky **první a druhé otáčkové frekvence** měřené hřídele, **zubové frekvence** ozubených kol a dále na **frekvence vad ložisek**. Jelikož se vibrace šíří celým tělem stroje a jednotlivá měřicí místa jsou velmi blízko sebe, bylo zjištěno, že se v každém frekvenčním spektru objevují otáčkové frekvence hřídelí hlavních i vedlejších ozubených kol. Schéma zobrazuje rozmístění otáčkových frekvencí hřídelí. Tohoto rozmístění a těchto frekvencí je třeba si při zkoumání spekter všimnout.



Obr. 8-1: Rozmístění otáčkových frekvencí hřídelí ve spektrech

## **8.1 Kovací stroj SHK-10 č. 1**

### **8.1.1 Vibrodiagnostika**

Kovací stroj č. 1 vykazuje poměrně nízké efektivní hodnoty vibrací. Výjimkou je RMS rychlosti vibrací ve vertikálním a horizontálním směru naměřených v místě ložiska K3. Důvodem je nevhodnost měřicího místa. Konstrukce stroje nedovoluje měření vibrací přímo na ložiskovém domku, ale až na krytu řemenového převodu, které je od měřeného ložiska vzdálen asi 350 mm. Měření vibrací na tomto místě není objektivní. Frekvenční spektra rychlosti i zrychlení vykazují kromě pravidelných špiček na předpokládaných frekvencích ještě mírně zvýšenou hodnotu všech ostatních frekvencí. Je to dáno opotřebením všech součástí a ložisek.

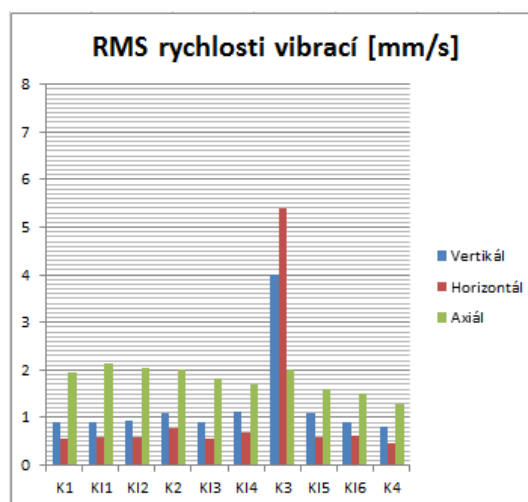
Mezi prvním a druhým měřením došlo na stroji č. 1 ke zvýšení efektivních hodnot vibrací ložiska KI1. Přezkoumáním frekvenčních spekter bylo zjištěno, že se zde objevily zvýšené špičky na první a druhé zubové frekvenci (1400 Hz a 2800 Hz). Důvodem je nejspíše zhoršující se stav ozubení na tomto kole.

**MĚŘENÍ Č. 1**

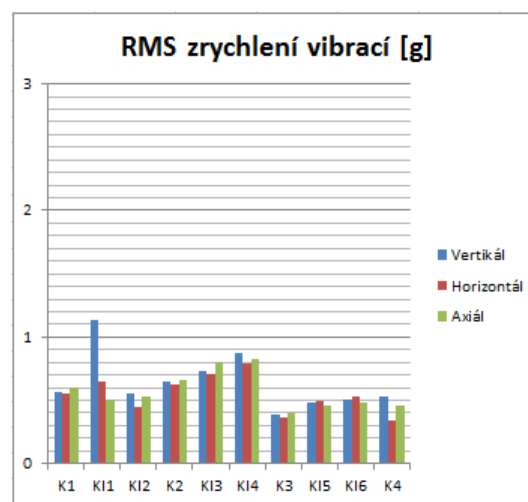
Datum měření:	14. 1. 2013
Hlaveň, ráže:	Malorážka 5,39
Materiál:	12 051.6
Dílec:	5130-0093-09
Průměr polotovaru:	Ø 31,2 mm

**Tabulka 6 - Efektivní hodnota rychlosti vibrací**

ložisko	RMS rychlosti [mm/s]		
	Vertikál	Horizontál	Axiál
K1	0,9142	0,5692	1,9391
KI1	0,896	0,5814	2,1254
KI2	0,9339	0,602	2,0385
K2	1,0985	0,769	2,0042
KI3	0,9007	0,5584	1,824
KI4	1,1213	0,6712	1,6854
K3	4,0028	5,4062	2,002
KI5	1,0998	0,5956	1,6025
KI6	0,9053	0,6245	1,4998
K4	0,7986	0,4735	1,2916

**Tabulka 7 - Efektivní hodnota zrychlení vibrací**

ložisko	RMS zrychlení [g]		
	Vertikál	Horizontál	Axiál
K1	0,565	0,5527	0,6042
KI1	1,1308	0,6484	0,506
KI2	0,5582	0,4489	0,5302
K2	0,6475	0,6257	0,6625
KI3	0,7336	0,7122	0,8063
KI4	0,8751	0,7946	0,8267
K3	0,3832	0,3587	0,3957
KI5	0,482	0,4987	0,4612
KI6	0,4997	0,5246	0,4774
K4	0,5243	0,3426	0,4526



**MĚŘENÍ Č. 2**

Datum měření:

28. 4. 2013

Hlaveň, ráže:

Pistolová Duty 8,83

Materiál:

42CRM04+QT

Dílec:

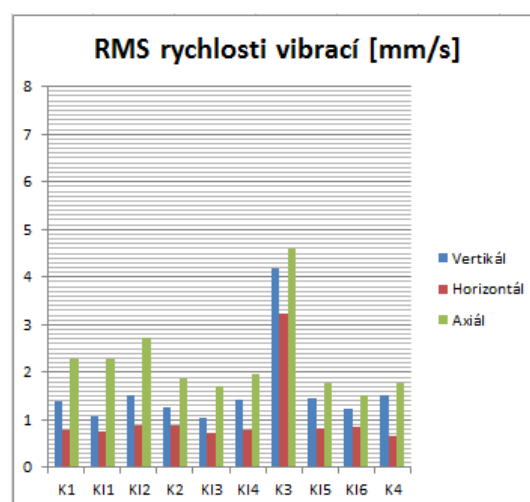
0710-0490-04M

Průměr polotovaru:

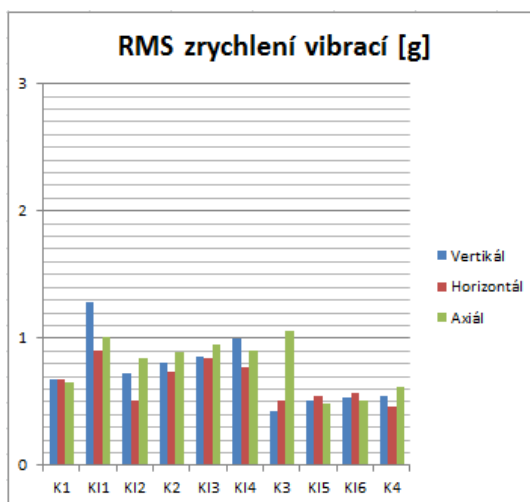
Ø 39,5 mm

**Tabulka 8 - Efektivní hodnota rychlosti vibrací**

ložisko	RMS rychlosti [mm/s]		
	Vertikál	Horizontál	Axiál
K1	1,403	0,7939	2,2784
KI1	1,0837	0,7741	2,2684
KI2	1,5192	0,8958	2,7328
K2	1,2782	0,8885	1,8639
KI3	1,041	0,7321	1,7136
KI4	1,4181	0,7773	1,9494
K3	4,1687	3,2403	4,6042
KI5	1,4707	0,8082	1,7896
KI6	1,2496	0,8484	1,534
K4	1,5094	0,6769	1,7878

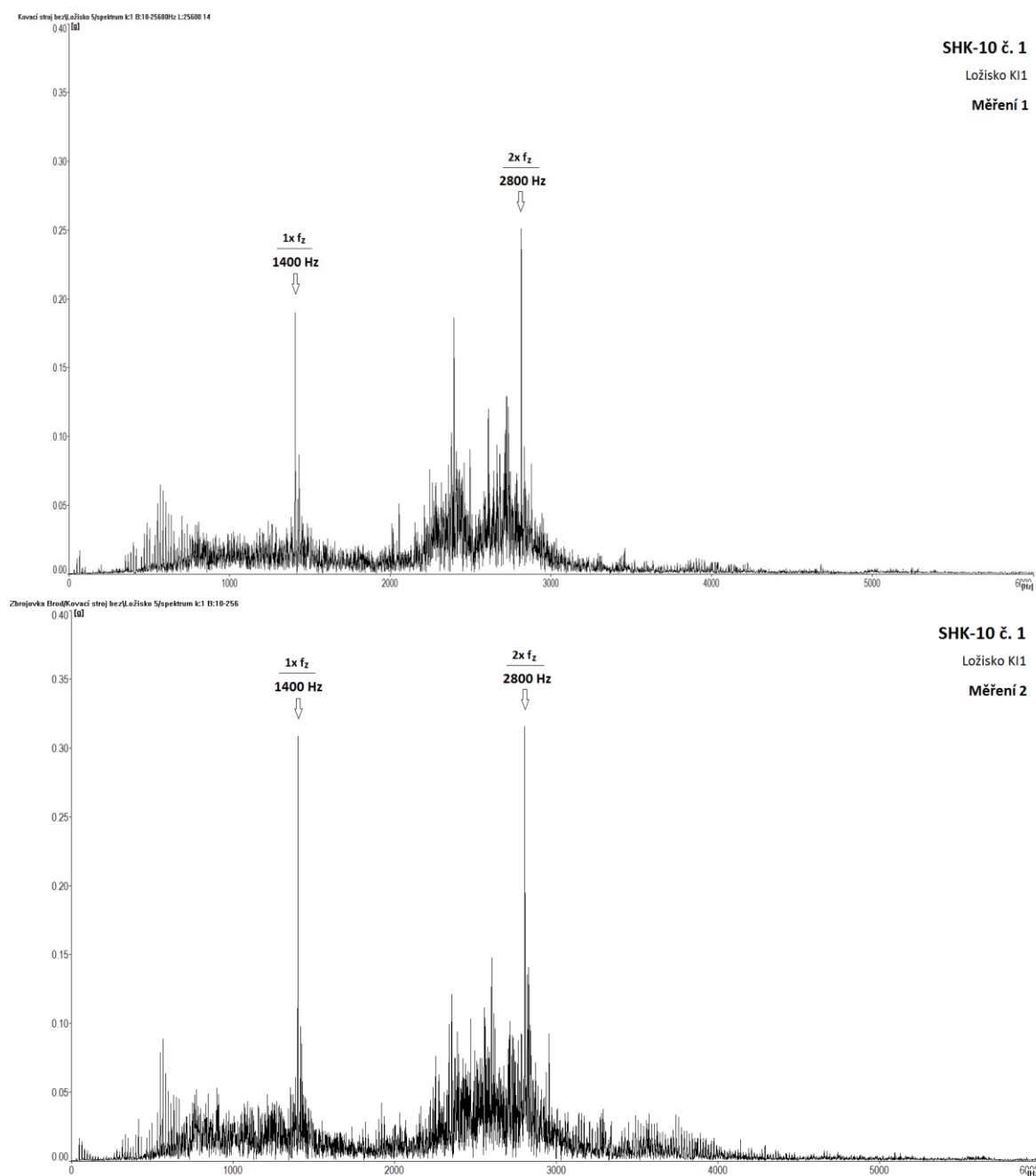
**Tabulka 9 - Efektivní hodnota zrychlení vibrací**

ložisko	RMS zrychlení [g]		
	Vertikál	Horizontál	Axiál
K1	0,68	0,6715	0,6572
KI1	1,2777	0,9005	1,0119
KI2	0,7197	0,5126	0,8452
K2	0,8048	0,733	0,8959
KI3	0,8515	0,8377	0,9497
KI4	1,0008	0,7736	0,9004
K3	0,4325	0,5126	1,0624
KI5	0,5094	0,5502	0,491
KI6	0,5364	0,568	0,511
K4	0,5449	0,4634	0,622

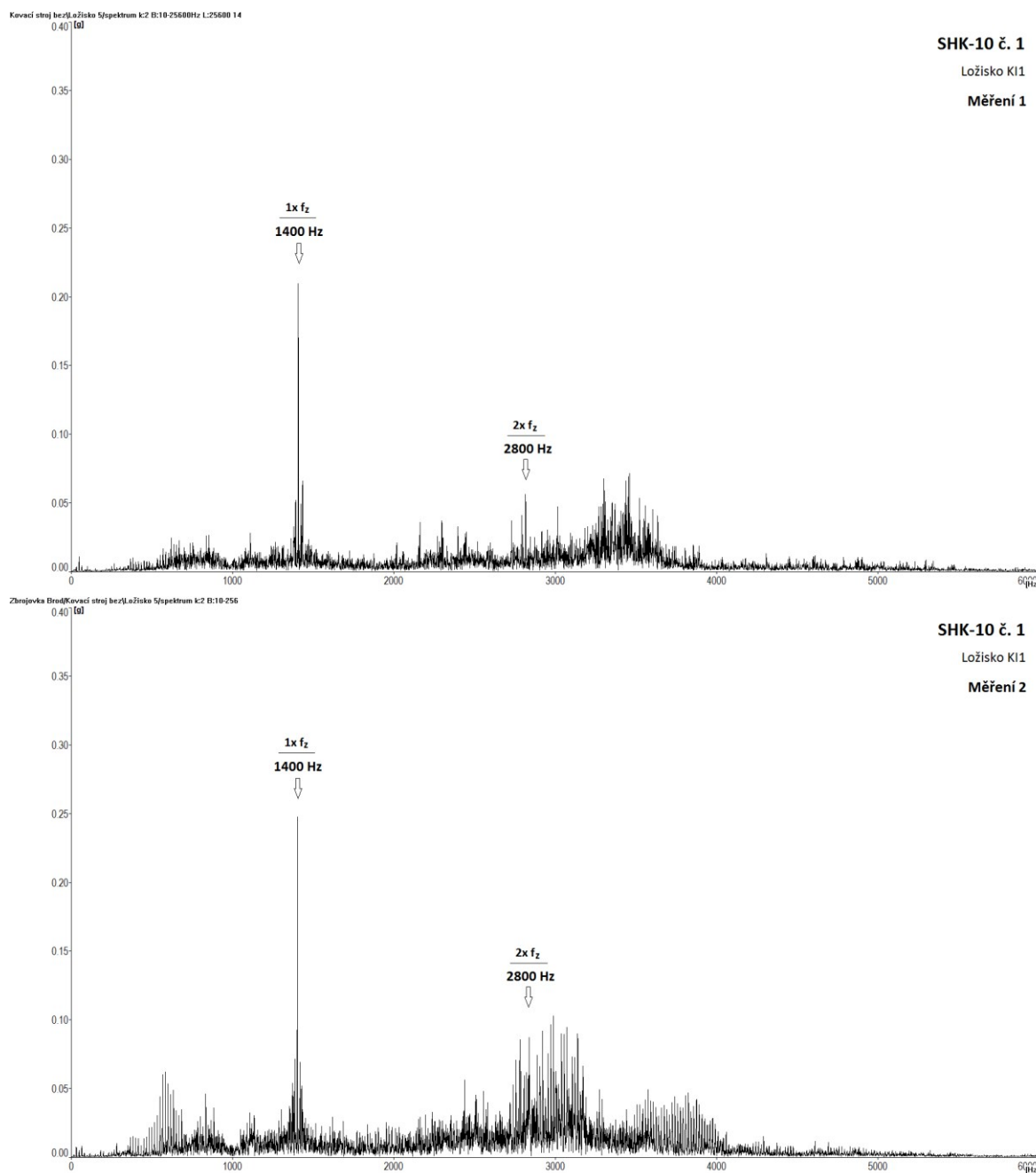


### Porovnání spekter RMS zrychlení ložiska KI1 pro první a druhé měření

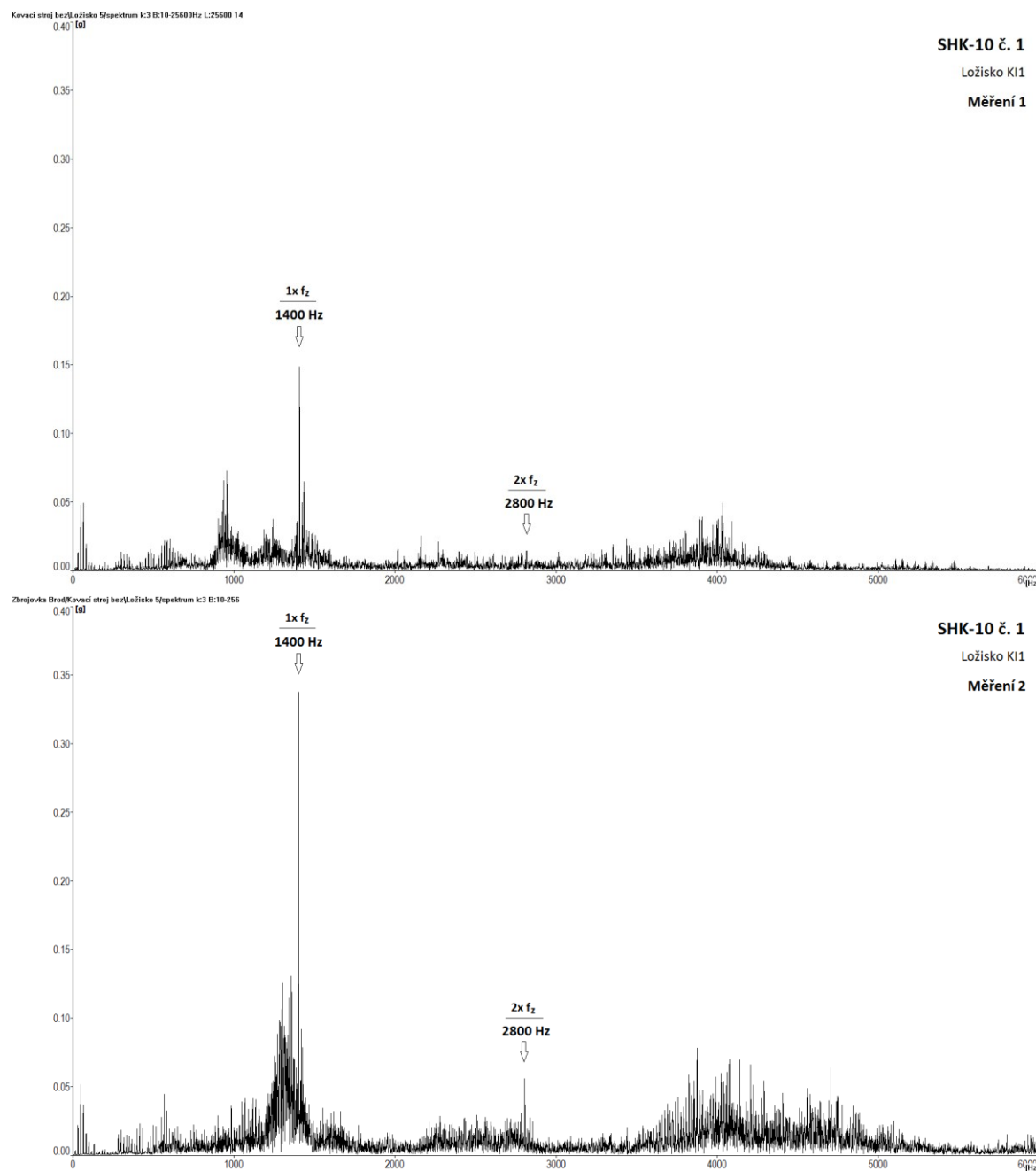
Spektra jsou seřazena ve stejném měřítku pod sebe pro všimnutí si zvětšujících se špiček na první a druhé zubové frekvenci ozubeného kola KI1 s odstupem času. Nejmenší zvětšení proběhlo ve směru horizontálním, k největšímu nárůstu pak došlo u směru axiálního.



Obr. 8-2: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložiska KI1 pro směr vertikální



Obr. 8-3: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložiska KI1 pro směr horizontální



Obr. 8-4: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložiska KI1 pro směr axiální

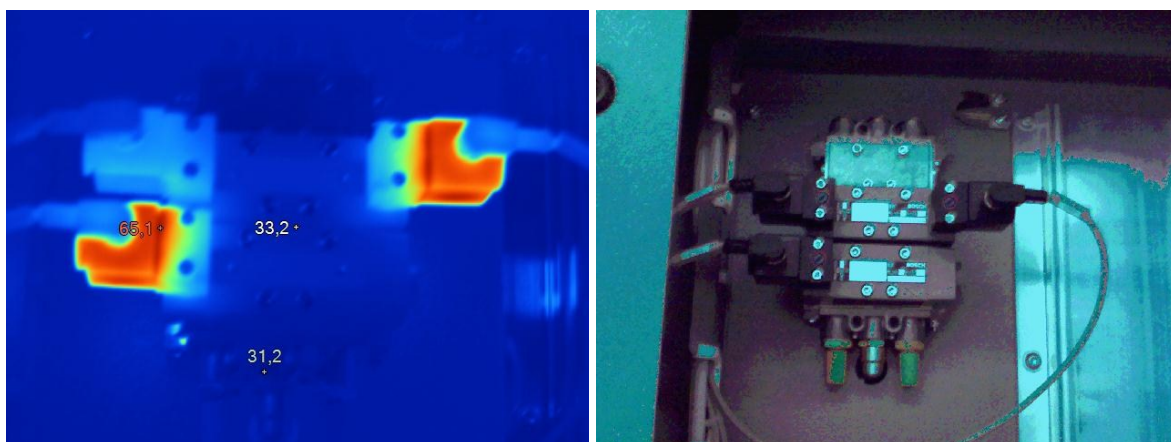
### 8.1.2 Termodiagnostika

Stroj vykazoval v celé konstrukci běžné teploty. Objevily se zde však místa se zvýšenými i vysokými tepelnými hodnotami. Zvýšená teplota 59,1 °C byla zaznamenána v místě ložiskového domku K4. Ostatní ložiskové domky vykazovaly teplotu cca 49 °C. Motor dosahoval nezvýšených teplot 33 – 47 °C. Pracovní teplota poblíž kladiv bucharů dosahovala také běžných teplot do 48 °C, výkovek byl chlazen na teplotu do 30 °C.

Vysoké teploty byly objeveny na několika místech. Jednalo se o různé elektronické senzory u hydraulických servomotorů. Příčinou je zastaralý typ těchto senzorů a také zřejmé klesání jejich životnosti. Jejich teplota byla naměřena vysoká, 65 – 77 °C. Jeden ze senzorů vykazoval teplotu až 103,1 °C. Při této teplotě hrozí poškození izolace senzoru – změna materiálových vlastností izolace, tvrdnutí a následné praskání. Existuje zde také reálná možnost poškození samotného senzoru a servomotoru.

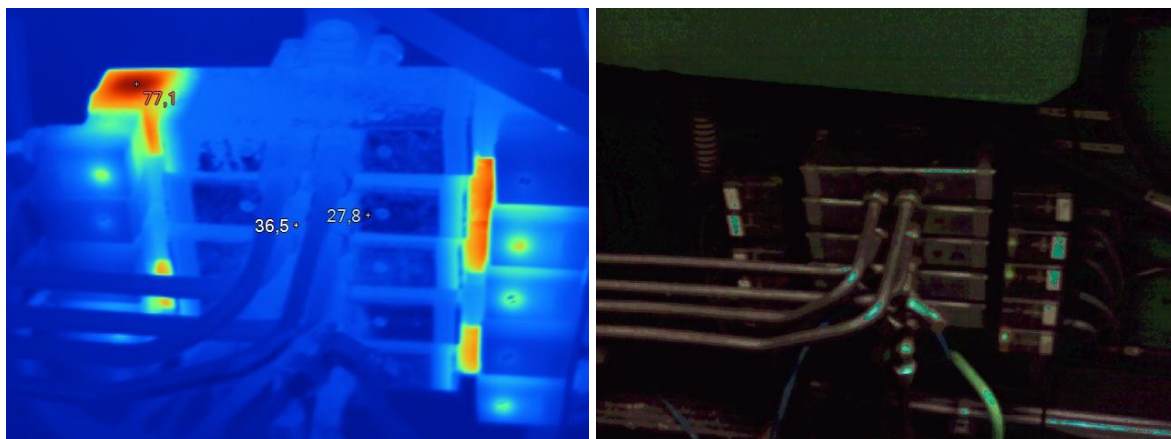


Obr. 8-5: Termovizní snímek ložiska K4

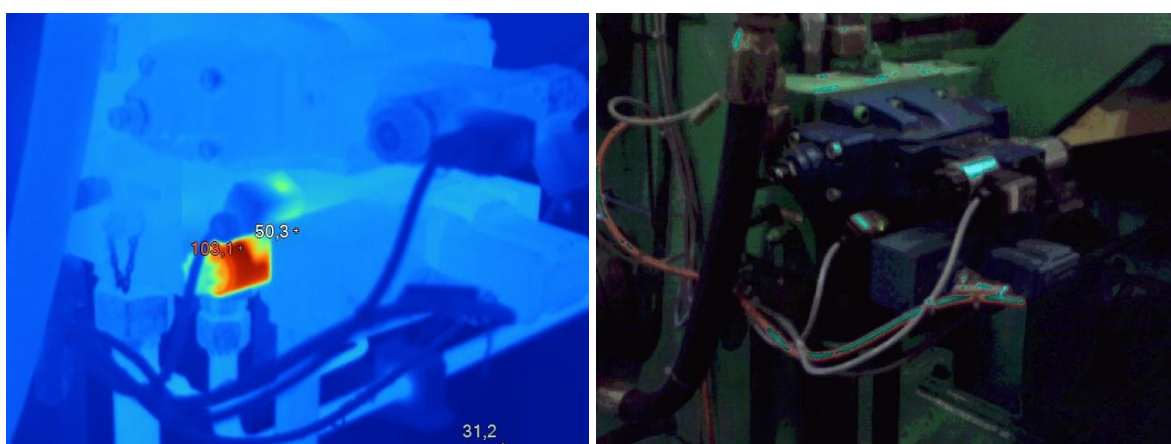


Obr. 8-6: Termovizní snímek senzorů A





Obr. 8-7: Termovizní snímek senzorů B



Obr. 8-8: Termovizní snímek senzoru C

### 8.1.3 Zhodnocení a doporučení

Při dalších měřeních (tříměsíční intervaly) se doporučuji zaměřit na hodnoty vibrací na ložisku KI1, konkrétně na zubovou frekvenci 1400 Hz a druhou zubovou frekvenci 2800 Hz. Je zde možnost zhoršujícího se stavu šikmých zubů na ozubeném kole. Doporučuji zvážit vybudování plnohodnotného měřicího místa pro ložisko K3.

Termovizní kamera odhalila několik míst, které se na stroji přehřívaly. Jednalo se o několik elektrických senzorů a jeden ložiskový domek s označením K4. V případě ložiskového domku doporučuji na tomto sledovat vývoj vibrací (doposud ložisko K4 nejevilo známky jejich výrazného zvýšení), teplotní vývoj a dále zkontrolovat správnost mazání v tomto místě. Hřející se senzory doporučuji viditelně označit, sledovat průběžně jejich teplotu, případně zvážit možnost jejich opravy nebo výměny.

## **8.2 Kovací stroj SHK-10 č. 2**

### **8.2.1 Vibrodiagnostika**

Kovací stroj č. 2 vykazuje velmi nízké efektivní hodnoty vibrací ve všech směrech. Pouze rychlost vibrací ve směru axiálním vykazuje u určitých ložisek znatelně vyšší hodnoty, než je tomu ve směru vertikálním a horizontálním. Ve frekvenčních spektrech rychlosti ani zrychlení nebyl nalezen žádný problém v přímo sledovaných ani jiných frekvencích.

**MĚŘENÍ Č. 1**

Datum měření:

14. 1. 2013

Hlaveň, ráže:

Pistolová Smith &amp; Wesson 9,92

Materiál:

42CRM04+QT

Dílec:

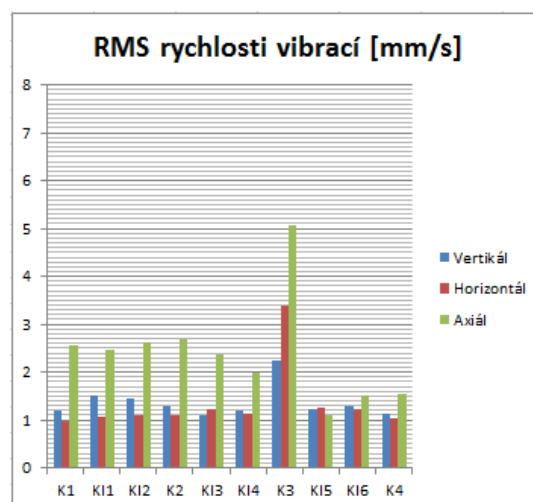
0720-0490-1601M

Průměr polotovaru:

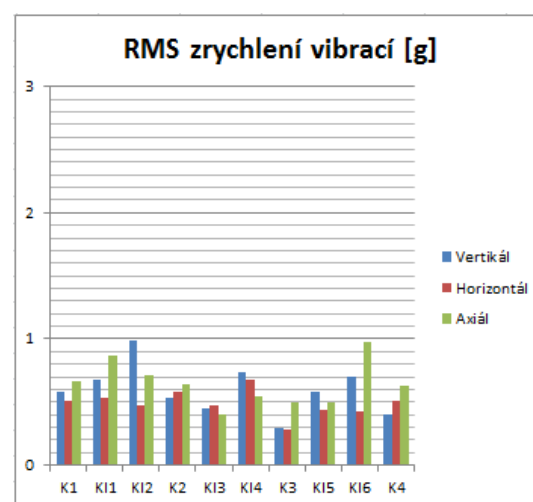
Ø 33,5 mm

**Tabulka 10 - Efektivní hodnota rychlosti vibrací**

ložisko	RMS rychlosti [mm/s]		
	Vertikál	Horizontál	Axiál
K1	1,2069	0,9778	2,5501
KI1	1,5097	1,069	2,4683
KI2	1,4616	1,1032	2,6108
K2	1,29	1,1097	2,6977
KI3	1,0976	1,2143	2,3597
KI4	1,206	1,1402	1,9952
K3	2,2324	3,3974	5,0564
KI5	1,2273	1,2447	1,0927
KI6	1,2868	1,2337	1,4974
K4	1,141	1,0268	1,552

**Tabulka 11 - Efektivní hodnota zrychlení vibrací**

ložisko	RMS zrychlení [g]		
	Vertikál	Horizontál	Axiál
K1	0,5826	0,5106	0,6614
KI1	0,6759	0,5388	0,8722
KI2	0,9868	0,4752	0,7089
K2	0,5361	0,5831	0,6364
KI3	0,4451	0,4765	0,4011
KI4	0,7348	0,6763	0,545
K3	0,2933	0,2873	0,5021
KI5	0,586	0,4383	0,4914
KI6	0,7017	0,4203	0,9749
K4	0,3962	0,5065	0,6339

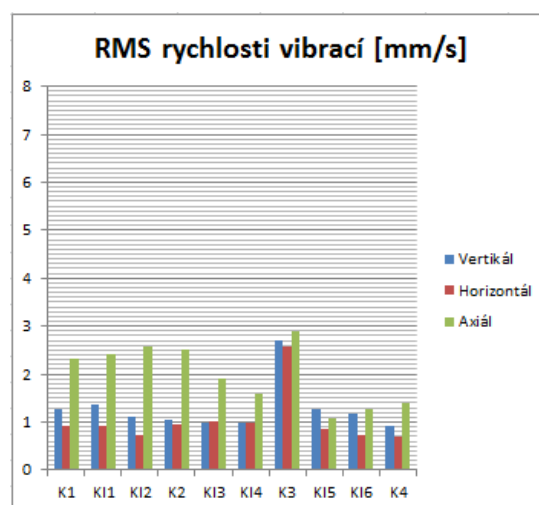


**MĚŘENÍ Č. 2**

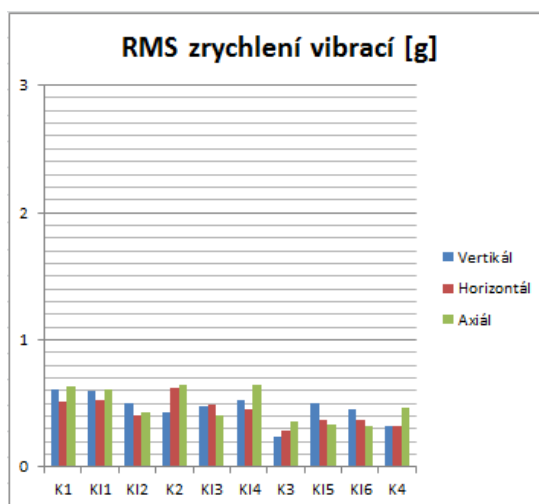
Datum měření:	28. 4. 2013
Hlaveň, ráže:	Kulovnice 300 Win. Magnum
Materiál:	15 142.9
Dílec:	5500-0136-6921
Průměr polotovaru:	Ø 36 mm

**Tabulka 12 - Efektivní hodnota rychlosti vibrací**

ložisko	RMS rychlosti [mm/s]		
	Vertikál	Horizontál	Axiál
K1	1,2709	0,9151	2,3318
KI1	1,3635	0,9089	2,402
KI2	1,1245	0,7277	2,5712
K2	1,0608	0,9411	2,5209
KI3	0,9831	1,0203	1,9096
KI4	0,9812	0,9931	1,5988
K3	2,7031	2,5837	2,8799
KI5	1,2859	0,8482	1,0858
KI6	1,1644	0,7323	1,276
K4	0,931	0,7078	1,4022

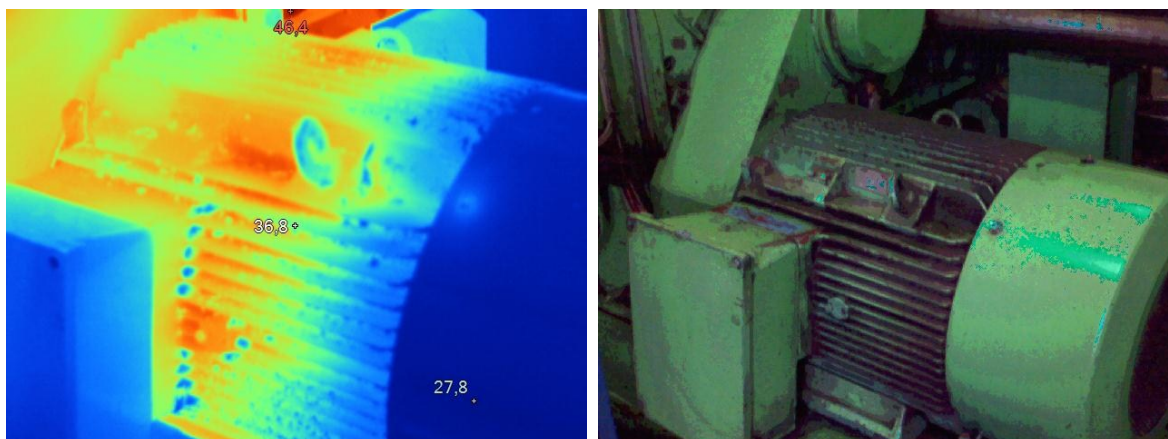
**Tabulka 13 - Efektivní hodnota zrychlení vibrací**

ložisko	RMS zrychlení [g]		
	Vertikál	Horizontál	Axiál
K1	0,6122	0,5203	0,6363
KI1	0,5982	0,5321	0,6148
KI2	0,5015	0,4005	0,4256
K2	0,4263	0,6244	0,6422
KI3	0,484	0,4881	0,408
KI4	0,526	0,4575	0,6443
K3	0,2381	0,2902	0,3594
KI5	0,5065	0,368	0,34
KI6	0,4552	0,3682	0,3222
K4	0,3175	0,3225	0,4687



### 8.2.2 Termodiagnostika

Stroj po zkoumání termovizní kamerou nejevil na žádném ložiskovém domku ani v žádné jiné oblasti známky zvýšené teploty. Pohon stroje dosahoval standardních teplot 30 – 43 °C (47,5 °C v místě výstupní hřídele motoru). Ložiskové domky dosahovaly teplot okolo 40 °C. V místě kování byla naměřena běžná teplota okolo 48 °C a přímo v místě styku kovacíh kladiv s výkovkem teplota 29 °C.



Obrázek 8-1: Termovizní snímek motoru

### 8.2.3 Zhodnocení a doporučení

Doporučuji pochůzkové měření v pravidelných tříměsíčních intervalech, ukládání dat a sledování trendů. Trend vibrací se kvůli kování různých typů hlavní projeví po delším časovém úseku, než by tomu bylo u kování shodných hlavní po celou dobu životnosti stroje. Je třeba proto brát v úvahu možnost náhlých skoků efektivních hodnot vibrací a nevyvolávat z těchto předčasné závěry. Obdobně jako u kovacího stroje č. 1 doporučuji vybudování lepšího měřicího místa pro ložisko K3.

Z hlediska termodiagnostiky nebyla nalezena na kovacím stroji žádná teplota, která by přesahovala standardní mez, není proto nutný žádný zásah údržby.

## **8.3 Vzájemné porovnání obou kovacích strojů**

### **8.3.1 Vibrodiagnostika**

U obou strojů byly, oproti ostatním ložiskům, zjištěny mírně zvýšené efektivní hodnoty rychlosti i zrychlení vibrací v axiálním směru u ložisek K1, K2 a KI1, KI2. Stejně tak v obou případech u ložisek KI3 a KI4 měly hodnoty v axiálním směru sestupnou tendenci a ložiska KI5, KI6 a K4 vykazovala hodnoty nejnižší (ložisko K3 je případ speciální kvůli nevhodnému měřicímu místu). Tento případ se vyskytuje u obou strojů. Hodnoty vibrací v axiálním směru rostou se zvětšující se výškou umístění ložiska ve stroji. U kovacího stroje č. 2 je tato pravidelnost zřetelnější díky nízké hodnotě opotřebení všech jeho součástí. Důvodem tohoto jevu je buďto poddajnost konstrukce kovacího stroje v axiálním směru nebo je důvodem konstrukční provedení stroje, které způsobuje, že se více přenáší vibrace do směru axiálního.

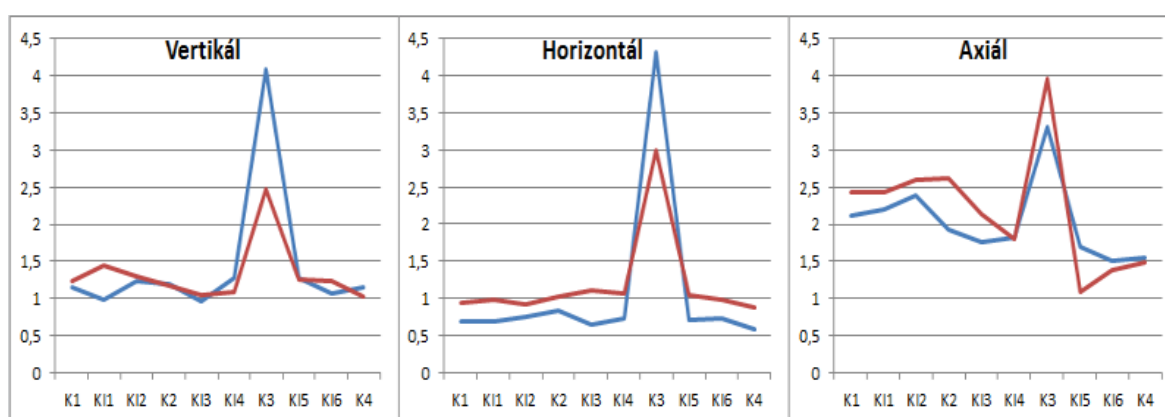
I když jsou u obou kovacích strojů efektivní hodnoty vibrací v normě, je zřejmé, že stroj SHK-10 č. 1 vykazuje hodnoty vyšší. Byl zohledněn i fakt, že při měření se ve všech případech jednalo o hlavně různých materiálů, průměrů a ráží. S větší potřebnou kovací silou budou oba stroje vždy vykazovat hodnoty vibrací vyšší. Nelze přesně říci, která hodnota je optimální. Nejlepším způsobem pro objektivní porovnání strojů mezi sebou je porovnat data z měření při kování identických hlavních.

### Porovnání průměrných efektivních hodnot rychlosti a zrychlení

Po zprůměrování naměřených efektivních hodnot rychlosti a zrychlení vibrací lze na každém ložisku porovnat hodnoty obou strojů. Z grafů je vidět, že hodnoty rychlosti jsou na odpovídajících ložiscích podobné.

Tabulka 14 – Průměrná rychlost

Ložisko	Průměrné hodnoty RMS rychlosti [mm/s]					
	Vertikál		Horizontál		Axiál	
	kov1	kov2	kov1	kov2	kov1	kov2
K1	1,1586	1,2389	0,68155	0,94645	2,10875	2,44095
KI1	0,98985	1,4366	0,67775	0,98895	2,1969	2,43515
KI2	1,22655	1,29305	0,7489	0,91545	2,38565	2,591
K2	1,18835	1,1754	0,82875	1,0254	1,93405	2,6093
KI3	0,97085	1,04035	0,64525	1,1173	1,7688	2,13465
KI4	1,2697	1,0936	0,72425	1,06665	1,8174	1,797
K3	4,08575	2,46775	4,32325	2,99055	3,3031	3,96815
KI5	1,28525	1,2566	0,7019	1,04645	1,69605	1,08925
KI6	1,07745	1,2256	0,73645	0,983	1,5169	1,3867
K4	1,154	1,036	0,5752	0,8673	1,5397	1,4771

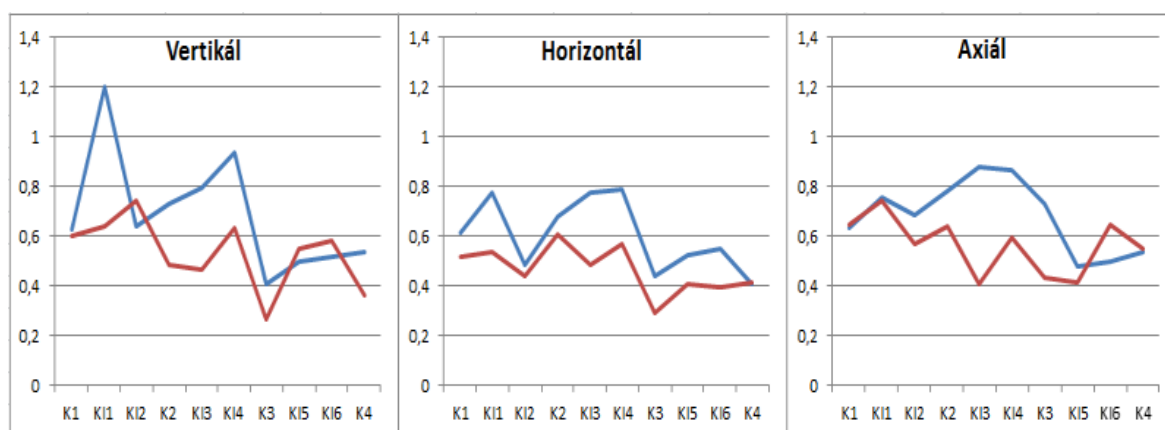


Obr. 8-9: Porovnání hodnot rychlostí kovacíh strojů

Hodnoty zrychlení jsou na kovacím stroji č. 1 zřetelně vyšší a nemají podobný charakter, jako je tomu v případě rychlosti.

Tabulka 15 – Průměrné zrychlení

Ložisko	Průměrné hodnoty RMS zrychlení [g]					
	Vertikál		Horizontál		Axiál	
	kov1	kov2	kov1	kov2	kov1	kov2
K1	0,6225	0,5974	0,6121	0,51545	0,6307	0,64885
K11	1,20425	0,63705	0,77445	0,53545	0,75895	0,7435
K12	0,63895	0,74415	0,48075	0,43785	0,6877	0,56725
K2	0,72615	0,4812	0,67935	0,60375	0,7792	0,6393
K13	0,79255	0,46455	0,77495	0,4823	0,878	0,40455
K14	0,93795	0,6304	0,7841	0,5669	0,86355	0,59465
K3	0,40785	0,2657	0,43565	0,28875	0,72905	0,43075
K15	0,4957	0,54625	0,52445	0,40315	0,4761	0,4157
K16	0,51805	0,57845	0,5463	0,39425	0,4942	0,64855
K4	0,5346	0,35685	0,403	0,4145	0,5373	0,5513

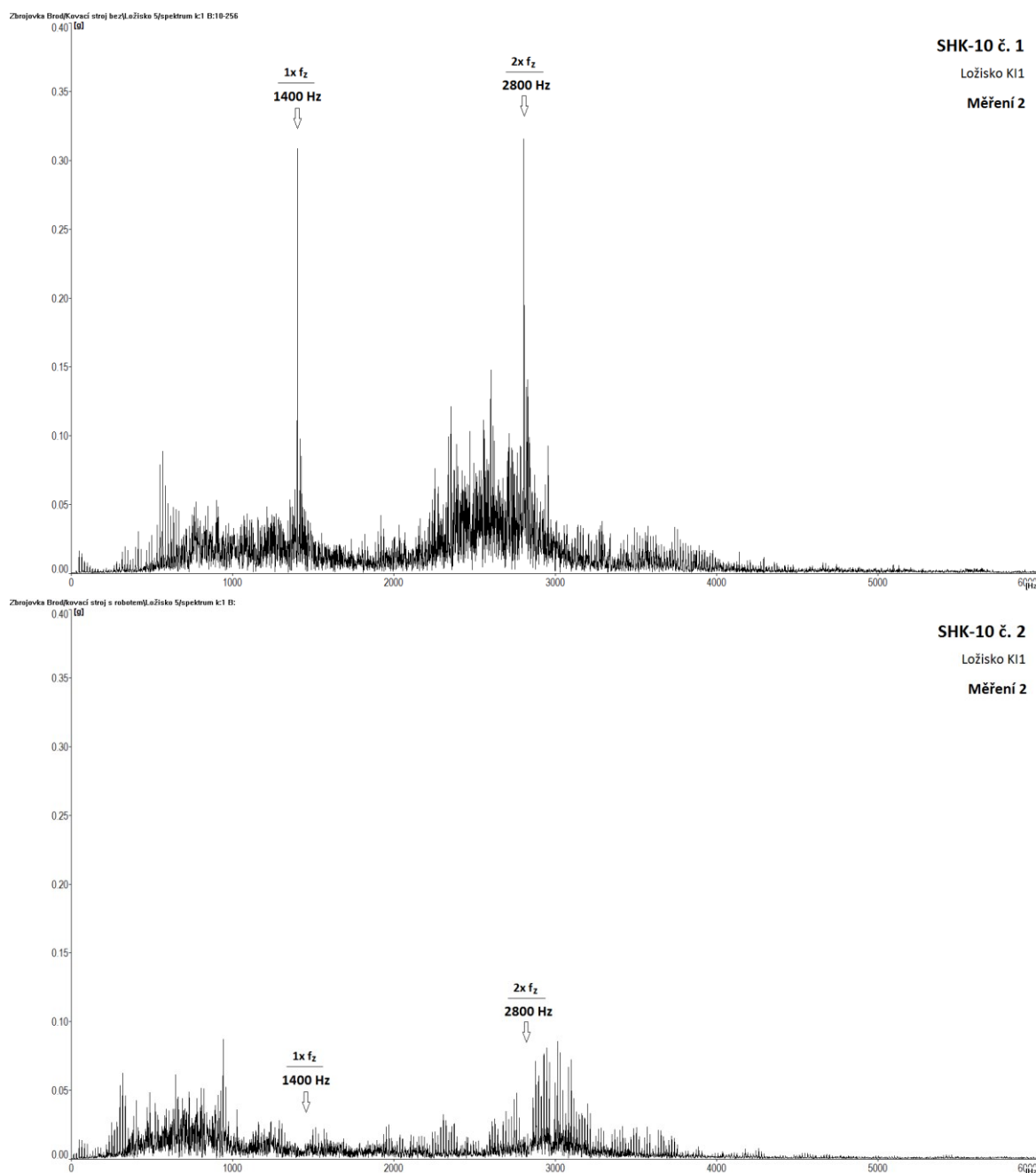


Obr. 8-10: Porovnání hodnot zrychlení kovacích strojů

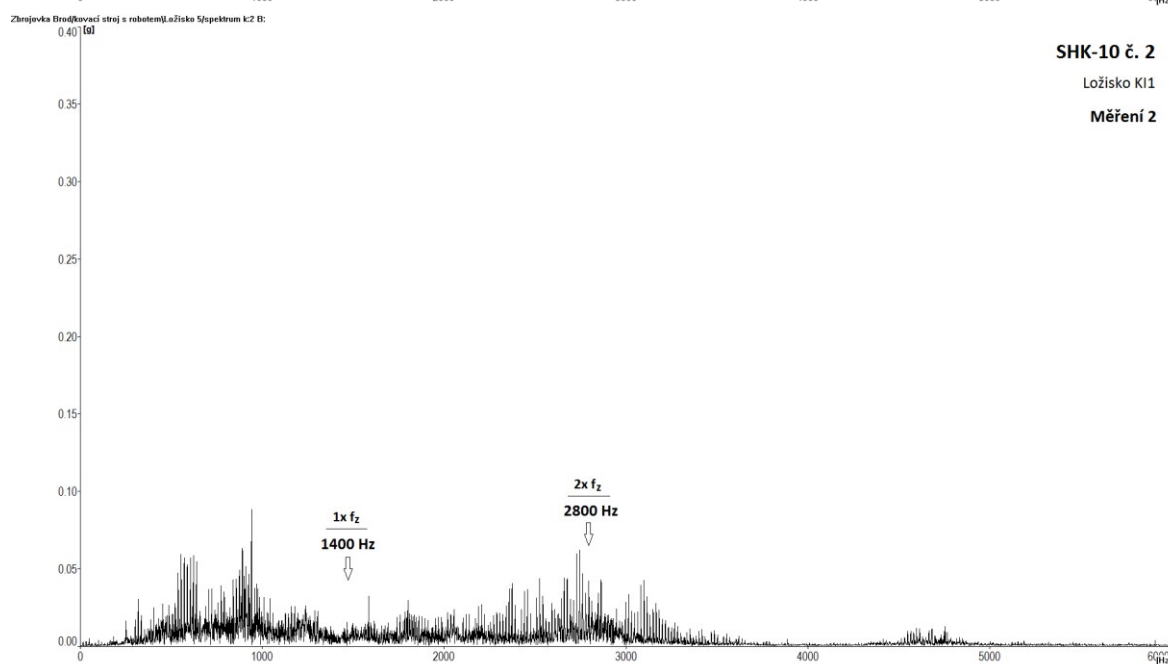
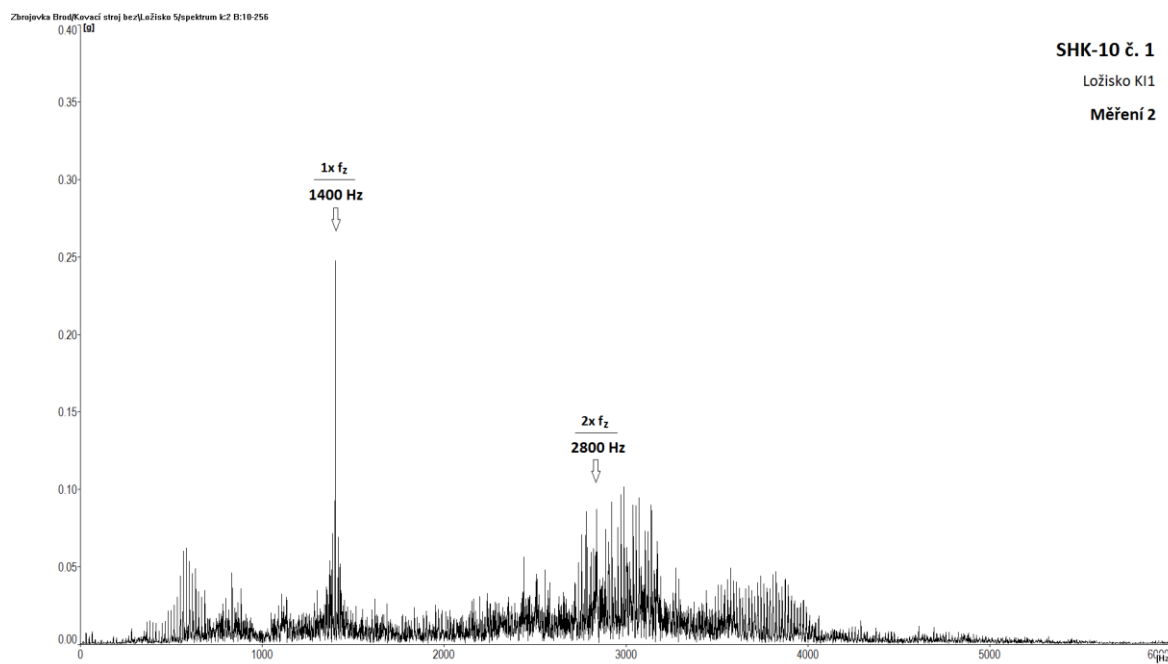


### Porovnání spekter RMS zrychlení kovacích strojů č. 1 a č. 2 na ložisku KI1

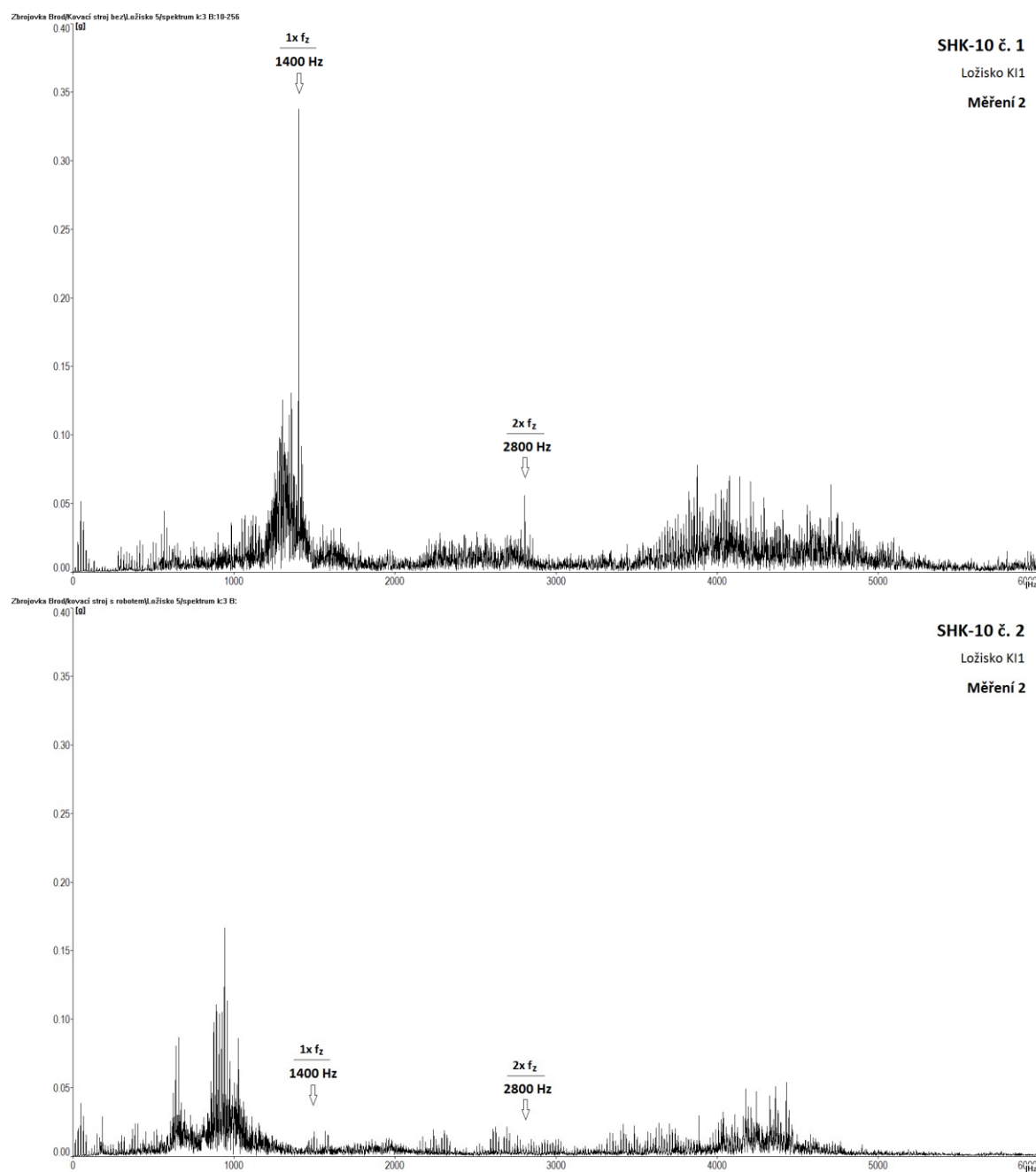
U sledování frekvenčních spekter je důležité porovnat maximální hodnoty špiček, které u kovacího stroje č. 1 dosahují hodnot vyšších. Zajímavý je fakt, že na kovacím stroji č. 1 jsou dominantními špičkami frekvence zubové (1400 Hz a 2800 Hz), kdežto na kovacím stroji č. 2 jsou jen těžko rozeznatelné. Vzhledem k faktu, že u kovacího stroje č. 2 proběhla kompletní renovace v průběhu roku 2012 a tento stroj je tedy v provozu necelý rok, můžeme na jeho frekvenční spektra pro každé měřené místo pohlížet jako na typické. Nevýhodou je neustále se měnící typ kovaných hlavní a také odlišná konstrukce strojů.



Obr. 8-11: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložisek KI1 pro směr vertikální



Obr. 8-12: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložisek KI1 pro směr horizontální



Obr. 8-13: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložisek KI1 pro směr axiální

### 8.3.2 Termodiagnostika

Kovací stroj č. 2 nevykazuje žádné známky přehřívání nebo jinak zvýšené teploty na žádném místě. Celkové hodnoty teplot v konstrukci obou kovacích strojů, až na několik specifických míst, jsou srovnatelné (do 30 °C s malými odchylkami). Stroj č. 1 má problém se zvýšenou teplotou neznámé příčiny u ložiska K4 a s vysokými teplotami na několika snímačích. Tento problém bude konzultován s technickým úsekem firmy CZUB.

### 8.3.3 Celkové zhodnocení

K objektivnímu porovnání dvou stejných typů kovacích strojů je největším problémem skutečnost, že žádné měření neproběhlo za podmínek, které by byly pro oba kovací stroje zcela totožné. Firma CZUB provádí kování různých typů hlavní zbraní vždy na základě právě zpracovávané zakázky a z tohoto důvodu nelze ani do budoucna naplánovat měření při kování stejných hlavních. Z naměřeného lze ale s jistotou poukázat na zhoršující se trend opotřebení u kovacího stroje č. 1, přestože je porovnávání obou strojů značně zkreslené. Např. v případě měření 1, pokud by na kovacím stroji č. 1 neprobíhalo kování hlavně malorážky, která je nejmenší ráží dlouhých palných zbraní, hodnoty u tohoto stroje by vycházely mnohem horší a převyšovaly by hodnoty kovacího stroje č. 2. Dokazuje to i fakt, že šlo o kování hlavně, která vyžadovala mnohem menší energetickou náročnost, a i přesto jsou hodnoty RMS zrychlení a rychlosti mezi těmito stroji srovnatelné.

Zkoumání frekvenčních spekter ani v jednom případě neodhalilo žádné poškození na žádném ložisku. Zato při porovnávání obou strojů ukázalo zcela jasně zvýšený stav vibrací všech frekvencí u kovacího stroje č. 1. Konkrétně pak u tohoto stroje spektra odhalila špičky na první a druhé zubové frekvenci. Jedná se vlivem opotřebení o zhoršený stav zubů na ozubených kolech, největší hodnoty byly nalezeny v místě KII.

Měření termovizní kamerou našla na kovacím stroji č. 1 několik míst s vysokými hodnotami teplot, která jsou blíže popsána ve výsledcích měření. Kovací stroj č. 2 je v tomto ohledu zcela v pořádku. Zároveň byla na obou strojích vytipována místa s největšími tepelnými hodnotami. Jedná se o výstupní část hřídele motoru, nejbližší okolí kování hlavní, hydraulická a elektronická vedení a ložiskové domky. Proto je třeba se zaměřit na sledování těchto charakteristických míst a jejich tepelných hodnot a za pomoci trendování posuzovat jejich stav.

## 9 Závěr

V teoretické části diplomové práce jsem se zabýval uvedením do problematiky a jejím teoretickým rozbořením. Byl zde popsán účel a význam údržby o výrobní stroje a zařízení, rozděleny a definovány jednotlivé úrovně údržby dle přístupu k péči o zařízení. Dále se zde nachází teorie ke dvěma odvětvím technické diagnostiky, které byly později použity k měření. Jedná se o vibrodiagnostiku a termodiagnostiku. Poslední kapitolou této části je popis softwaru DDS 2011 firmy Adash, s. r. o., který posloužil v praktické části práce ke zpracování a prezentaci výsledků měření.

Druhou částí práce je aktuální stav a popis řešeného problému. Je zde kompletně popsán systém údržby ve firmě CZUB. Tento systém je rozdělen na jednotlivé typy údržby dle náročnosti na obsluhu a dále jsou zde uvedeny přesné postupy při provádění každého typu údržby. Další kapitolou je charakteristika kovacího stroje GFM SHK-10, zejména jejich hlavní části – kovací skříň. Tato část stroje je řešena v praktické části. Je zde popsáno převodové ústrojí kovací skříně, definovány typy ložisek ve skříni a vypočítány frekvenční charakteristiky stroje důležité pro zhodnocení měření.

Hlavní část práce obsahuje návrh diagnostického systému aplikovaného na dva kovací stroje GFM SHK-10, souhrn všeho potřebného ke správnému posouzení a zhodnocení technického stavu stroje. Výsledky měření jsou prezentovány tabulkově s přehledným grafickým znázorněním. Podle měření jsou nejprve zhodnoceny stavy každého kovacího stroje zvlášť a poté jsou stroje porovnány mezi sebou. Měřením byl ověřen výborný technický stav kovacího stroje č. 2. Taktéž byl potvrzen předpoklad, že na kovacím stroji č. 1 budou na několika místech nalezeny hodnoty vibrací blížící se varovné hranici. Na rok 2014 je v plánu modernizace kovacího stroje č. 1.

Dle popsaného systému údržby a zjištěných technických stavů a porovnání obou kovacích strojů je patrné, že firma CZUB přistupuje k problematice údržby zodpovědně a průběžně sleduje stav opotřebení dílů v kovací skříni. Ke zlepšení prevence a predikce je nutno uvažovat o pořízení nového profesionálního měřicího přístroje stejného, nebo podobného typu, jako je přístroj použitý v této práci a s tím související i nákup příslušného softwaru schopného zkoumat naměřená data.

Zjišťování technického stavu za pomoci vibrodiagnostiky u těchto typů strojů není ve světě známo. Samotný výrobce tuto metodiku zjišťování stavu opotřebení nepoužívá.

## Seznam použitých obrázků

Obr. 2-1: Soustava kmitání.....	18
Obr. 2-2: Časová závislost výchylky, rychlosti a zrychlení [20] .....	19
Obr. 2-3: Skládání kmitů s různou frekvencí [20] .....	20
Obr. 2-4: Skládání kmitů ve fázi [20] .....	20
Obr. 2-5: Skládání kmitů v protifázi [20].....	21
Obr. 2-6: Veličiny kmitu [5] .....	21
Obr. 3-1: Schéma pyrometru [1] .....	28
Obr. 3-2: Obrazový měnič [1] .....	29
Obr. 4-1: Rozhraní DDS 2011 [17].....	31
Obr. 4-2: Vytvoření databáze [17] .....	31
Obr. 4-3: Vytvoření stromu [17] .....	32
Obr. 4-4: Příklad stromu [17].....	33
Obr. 4-5: Vytvoření datových buněk [17].....	34
Obr. 4-6: Semafor zobrazení varování [17] .....	34
Obr. 4-7: Zobrazení konkrétní hodnoty.....	35
Obr. 4-8: Zobrazení frekvenčního spektra .....	35
Obr. 4-9: Zobrazení časového záznamu.....	36
Obr. 4-10: Zobrazení orbity .....	36
Obr. 6-1: Pohled na kovací stroj SHK-10 .....	43
Obr. 6-2: Pohled na kovací kladiva.....	45
Obr. 6-3: Porovnání - polotovar a výkovek.....	45
Obr. 6-4: Schéma převodového ústrojí kovacího stroje.....	47
Obr. 6-5: Pohled na převodové ústrojí zevnitř [9] .....	48
Obr. 6-6: Ložisko soudečkové dvouřadé SKF 22319 EK [19] .....	48
Obr. 6-7: Ložisko válečkové FAG NU 2220 E [19] .....	49
Obr. 6-8: Ložisko soudečkové dvouřadé SKF 22218 EK [19] .....	49
Obr. 6-9: Ložisko válečkové FAG NU 2217 E [19] .....	49
Obr. 7-1: Parametry Ti32 [16].....	54
Obr. 7-2: Parametry A4400 - VA4 [14] .....	55
Obr. 7-3: Schéma měřicích míst kovací skříně .....	56
Obr. 7-4: Pohled na měřicí místa .....	56
Obr. 7-5: Umístění snímačů na domku ložiska .....	57
Obr. 7-6: Návrh jednoduchého stromu pro měření .....	58

Obr. 7-7: Mezní hodnoty rychlosti .....	60
Obr. 7-8: Mezní hodnoty zrychlení .....	60
Obr. 8-1: Rozmístění otáčkových frekvencí hřídelí ve spektrech .....	61
Obr. 8-2: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložiska KI1 pro směr vertikální .....	65
Obr. 8-3: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložiska KI1 pro směr horizontální .....	66
Obr. 8-4: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložiska KI1 pro směr axiální .....	67
Obr. 8-5: Termovizní snímek ložiska K4 .....	68
Obr. 8-6: Termovizní snímek senzorů A .....	68
Obr. 8-7: Termovizní snímek senzorů B .....	69
Obr. 8-8: Termovizní snímek senzoru C .....	69
Obr. 8-9: Porovnání hodnot rychlostí kovacíh strojů .....	75
Obr. 8-10: Porovnání hodnot zrychlení kovacíh strojů .....	76
Obr. 8-11: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložisek KI1 pro směr vertikální .....	77
Obr. 8-12: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložisek KI1 pro směr horizontální .....	78
Obr. 8-13: Frekvenční spektra RMS zrychlení ložisek KI1 pro směr axiální .....	79

## Použité zdroje a literatura

- [1] JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL: *Technická měření*. ČVUT v Praze, Praha 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6
- [2] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D.: *Technická diagnostika a spolehlivost I – Tribodiagnostika*. 1. vydání, VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2001, 158 s., ISBN 80-7078-883-6
- [3] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II. - Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80-248-0650-9
- [4] POSPÍCHAL, L.: *TPM možnost jak začít provádět údržbu komplexně a produktivně*. (soubor prezentací), APOS Jihlava 2006, 85 s.
- [5] MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 231 s., ISBN 80-01-02417-2
- [6] TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha, Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7
- [7] HELEBRANT, F.: *Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů*. VŠB – TU Ostrava 2008, 1. Vydání, 130 s., ISBN 978-80-248-1690-6
- [8] ČESKÁ ZBROJOVKA, a. s. UHERSKÝ BROD: *PI-1-10-02*. Směrnice odboru údržby firmy.
- [9] ČESKÁ ZBROJOVKA, a. s. UHERSKÝ BROD: *Technická dokumentace*.
- [10] Česká technická norma ČSN ISO 13373: *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Obecné pokyny*
- [11] Česká technická norma ČSN ISO 13373-1: *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 1: Obecné postupy*
- [12] Česká technická norma ČSN ISO 13373-2: *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Monitorování stavu vibrací – Část 2: Zpracování, prezentace a analýza vibračních dat*
- [13] Česká technická norma ČSN ISO 10816-3: *Mohutnost vibrací*



- [14] Katalog firmy Adash
- [15] Katalog firmy SKF
- [16] Katalog firmy Fluke
- [17] ADASH, s. r. o.: *A4400 – VA4 Manual*. Uživatelská příručka přístroje A4400 – VA4.
- [18] [online]  
URL: [http://www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Sbirka\\_Fyzika/1\\_7\\_2\\_tlum.pdf](http://www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Sbirka_Fyzika/1_7_2_tlum.pdf)  
[cit. 20. 2. 2013]
- [19] [online] URL: <http://webtools3.skf.com/BearingCalc/home.action> [cit. 2. 4. 2013]
- [20] [online] URL: <http://vojtahanak.cz/files/edu/kmity/kmity.html> [cit. 23. 2. 2013]

## **Přílohy**

<b>Příloha A</b> – Norma ČSN ISO 10816-3: Mohutnost vibrací	(počet stran: 1)
<b>Příloha B</b> – MicroVibe P CMVL 3850	(počet stran: 1)
<b>Příloha C</b> – Naměřené hodnoty vibrací přístrojem MicroVibe v CZUB	(počet stran: 2)
<b>Příloha D</b> – Technické výkresy kovacího ústrojí	(počet stran: 3)

## Příloha A

ČSN ISO 10816-3: Mohutnost vibrací [13]

ČSN ISO 10816-3	Skupina 1		Skupina 2	
Typ stroje	Velké stroje 300 kW < P < 50 MW		Stroje střední velikosti 15 kW < P < 300 kW	
	Elektromotor H > 315 mm		Elektromotor 160 mm < H < 315 mm	
Uložení	Pružné	Tuhé	Pružné	Tuhé
Rychlost vibrací $v_{\text{eff}}$ mm/s rms		<b>D</b>		
11,0				
7,1				
10–1000 Hz $r > 600$ rpm		<b>C</b>		
4,5				
2–1000 Hz $120 < r < 600$ rpm		<b>B</b>		
3,5				
2,8				
2,3				
1,4		<b>A</b>		
©PRÜFTECHNIK AG				
<b>A</b> Nově přejímané stroje	<b>B</b> Neomezený dlouhodobý provoz	<b>C</b> Omezený provoz	<b>D</b> Riziko poškození	

## Příloha B

### ASUS PocketPC – MicroVibe P CMVL 3850

[15] Jedná se o kapesní PDA s operačním systémem Windows Mobile®. Software MicroVibe P je od firmy SKF, a. s. Umožňuje standardní měření vibrací, jako je obálka signálu zrychlení, zrychlení, rychlost a výchylka vibrací, časový záznam a FFT spektrální analýza. Sondou dodávanou se softwarem, která byla i v tomto případě použita k měření, je akcelerometr s označením CMSS 3811. Tento měřicí přístroj je doposud používán ve firmě CZUB jako jediný ke zjišťování hodnot vibrací.

Pozn.: Ve výsledcích práce nejsou data z tohoto přístroje zahrnuta. Tímto přístrojem se provádí běžné pochůzkové měření. Tabulky s naměřenými hodnotami tímto přístrojem jsou umístěny v „Příloha C“.

#### MicroVibe P CMVL 3850

Minimální požadavky na PDA: Vyhovuje specifikacím na kapesní PC

*Operační systém:* Microsoft Pocket PC 2003 (Windows Mobile 3.0)

*Procesor:* ARM

*Rozhraní:* Compact Flash TYPE II, pouze slot 3,3 V

Doporučené specifikace:

*Procesor:* PXA255 400 MHz nebo vyšší

*Paměť (RAM):* 64 MB nebo více

Rozhraní s kapesním PC: Compact Flash TYPE II, pouze slot 3,3 V

Napájení: +3,3 V (dodávané kapesním PC)

Proud:

*záloha:* 44  $\mu$ A

*při měření:* 48 mA

Vstup od snímače (PU IN):

*střídavý napěťový signál:* max.  $\pm 2,5$  V

*Vstupní konektor:* 8-mi kolíkový modulární konektor (RJ-45) (ICP akcelerometr s předzesilovačem není připojen)

Výstup neupravené vlny (PU OUT):

*střídavý napěťový signál:* max.  $\pm 2,5$  V

*Výstupní konektor:* mini konektor (průměr 2,5 mm)

Vzorkovací frekvence: max. 76,8 kHz (změny podle režimu) 76,8 kHz/38,4 kHz

Aliasingový filtr: 20 kHz/2 kHz (změny podle režimu a podle vzorkovací frekvence)

A/D: 16-ti bitový

Rozsah teploty: 0 až +45 °C

Rozsah vlhkosti: < 90%, relativní vlhkost, nekondenzující

Hmotnost: asi 25 g. (pouze karta)

Rozměry: 60,0 mm x 42,1 mm x 16,9 mm

#### Akcelerometr CMSS 3811

Typ: zabudovaný předzesilovač, smykový typ

Napájení:  $\pm 5$  Vss

Napěťová citlivost: 20 mV/g

Rezonanční frekvence: asi 20 kHz

Frekvenční rozsah: 3 Hz až 10 000 Hz

Max. zrychlení: 500 m/s<sup>2</sup>

Mezní vibrace: 5000 m/s<sup>2</sup>

Max. výstupní napětí:  $\pm 1$  V

Výstupní impedance: pod 100  $\Omega$

Teplotní rozsah: -20 °C až +80 °C

Materiál: SUS

Hmotnost: asi 60 g

Otvor se závitem: M6, P = 1, hloubka 5 mm, vnitřní závit

Integrovaný kabel: délka 1,5 m

Konektor: 8-mi kolíkový modulární zástrčka

Rozměry: viz obrázek níže

Konstrukce: prachotěsný, odolný proti oštknutí



## Příloha C [9]

### SHK-10 č. 1

hl. č. 102843

Po GO a modernizaci v roce 2005 (r. v. 1992)

Škorpion 5,56 Standard, ČSN jakost 1,7765, č. dílce 3700-0200-6501, průměr 38mm

### Hlavní kola v kovací skříni

	K1/V	
0,403	2,089	5,188
0,707	2,102	2,735
	5,532	
0,522	2,119	4,062

	K1/H	
0,356	0,312	3,609
2,981	7,924	2,658
	39,51	
0,423	0,302	2,167

	K2/V	
0,536	2,256	4,211
0,384	1,552	4,023
	5,124	
0,641	1,995	3,152

	K2/H	
0,456	2,075	4,561
1,68	4,63	2,74
	31,23	
0,561	2,089	3,781

	K3/V	
0,782	2,786	3,995
5,392	10,953	2,035
	37,71	
0,806	2,175	2,476

Motor		K3/H	
	0,415	1,625	3,938
	2,625	8,869	3,406
		36,16	
	0,542	1,249	3,445

	K4/V	
0,318	1,649	5,196
0,681	2,175	3,192
	7,132	
0,457	1,678	3,67

	K4/H	
0,387	1,549	3,997
1,749	5,549	3,174
	25,73	
0,479	1,526	3,188

### Vedlejší kola (mezikola) v kovací skříni

	KI1/V	
0,648	2,115	3,576
1,248	3,589	2,982
	12,83	
0,823	2,224	2,891

	KI1/H	
0,565	2,014	3,568
2,105	6,245	2,853
	34,25	
0,568	1,882	2,563

	KI2/V	
0,514	2,06	4,015
1,277	4,025	3,135
	13,86	
0,827	2,623	3,167

	KI2/H	
0,505	2,21	4,375
2,289	6,762	2,954
	43,88	
0,593	1,535	2,653

	KI3/V	
0,526	2,754	5,238
1,073	3,285	3,061
	16,11	
0,767	2,168	2,826

	KI3/H	
0,397	1,585	3,987
2,407	5,926	2,462
	36,71	
0,473	1,359	2,853

	KI4/V	
0,762	3,578	4,709
0,889	4,941	5,57
	7,633	
1,132	3,718	3,286

	KI4/H	
0,373	1,733	4,646
1,247	3,57	2,864
	22,59	
0,565	1,395	2,782

	KI5/V	
0,483	3,289	6,712
0,971	2,865	2,954
	12,063	
0,552	1,659	3,008

	KI5/H	
0,525	2,325	5,304
1,305	4,226	3,258
	24,67	
0,628	1,81	3,211

	KI6/V	
0,411	5,227	12,71
0,61	1,619	2,653
	6,031	
0,527	2,015	3,828

	KI6/H	
0,444	2,138	5,164
1,284	4,118	3,207
	25,04	
0,575	1,729	3,025

**Přístroj:** MicroVibe P CMVL 3850, sonda: CMSS 3811

**RMS** - efektivní hodnoty, **PEAK** - špička, **CF** - činitel výkmitu (crest factor)

**A** - zrychlení, **V** - rychlost, **D** - výchylka, **E3** - obálka zrychlení (500Hz - 10kHz)

	RMS	Peak	CF
		ozn.	
<b>A [g]</b>			
<b>V [mm/s]</b>			
<b>D [μm]</b>			
<b>E3 [gE]</b>			

